

Edward Pacholski, Lesław Iskierski
KGHM Polska Miedź SA Oddział Zakłady Wzbogacania Rud, Polkowice

ANALIZA WPLYWU SPOSOBU ROZRUCHU SILNIKÓW NAPĘDOWYCH NA PARAMETRY SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF START-UP MODE OF DRIVE MOTORS TO ELECTRIC NETWORK PARAMETERS

Streszczenie: W dobie postępującego wzrostu cen energii elektrycznej i pogarszającej się jej jakości, związanej między innymi z coraz to liczniej występującym w sieci elektroenergetycznej odbiorami nieliniowymi, stosowaniem urządzeń energoelektronicznych itp., problematyka jakości energii elektrycznej i jej oszczędności staje się zagadnieniem pierwszoplanowym. W opracowaniu poświęcono wiele uwagi ocenie jakości energii w sieci KGHM Polska Miedź S.A Oddział Zakłady Wzbogacania Rud w odniesieniu do normy PN-EN 50160. Zbadano jak na parametry jakościowe napięcia wpływają stany dynamiczne w postaci rozruchów napędów małej i dużej mocy o różnym rodzaju stosowanych układów rozruchowych. Przebadano też rekomendowane przez producentów i dostawców urządzenia oszczędzające energię elektryczną w napędach elektrycznych (inteligentne sterowniki typu Powerboss i Power Optimizer) pod kątem rzeczywistych możliwości oszczędzania energii elektrycznej oraz wpływu tych urządzeń na parametry sieci elektroenergetycznej.

Abstract: In the present time we can observe rapid raising of electric energy costs with simultaneously its quality getting worse because of non-linear supplies in electric network as well as applying energetic devices etc. Hence the discussion on electric energy quality and saving energy issues have its high importance. In this paper electric energy quality in accordance with EU standard PN EN 50160 in network owned by KGHM Polska Miedz S.A. Division of Concentrators has been discussed. The influence of dynamics of start-ups of low and high power drives with different start-up devices on quality parameters has been estimated. The reliability of devices recommended by suppliers which are dedicated to energy save in motor drive systems as Power-Boss and Power Optimiser has been evaluated according to their real energy saving efficiency and the influence on quality of electric network parameters.

Słowa kluczowe: rozruch silników, oszczędność energii, parametry sieci elektroenergetycznej

Keywords: start-up mode of drive motors, energy saving efficiency, electric network parameters

1. Wstęp

Oddział Zakłady Wzbogacania Rud w Polkowicach jest jednym z największych odbiorcą energii elektrycznej w KGHM Polska Miedź S.A. Moc zainstalowana w odbiornikach energii przekracza ponad 220MW. Pobór mocy podczas normalnej pracy zakładu oscyluje ciągle w granicach 90MW, a roczne zużycie energii elektrycznej wynosi ok.670GWh. Ponad 95% energii zużywają napędy elektryczne. W zakładzie zainstalowanych jest ok. 3.000 różnych układów napędowych o mocach od kilku kW do 1250kW. Napięcie robocze występuje na poziomie 500V w sieci w układzie IT oraz 6kV. Napięcia 230/400V wykorzystywane jest jedynie w układach sterowania i oświetleniu. Opłaty za energię elektryczną stanowią obecnie ponad 30% wszystkich kosztów produkcji w Oddziale Zakłady Wzbogacania Rud. Nic więc dziwnego, że problematyka poprawy efektywności energetycznej jest niezwykle istotnym zagad-

nieniem i stanowi najważniejszy element w obniżaniu kosztów produkcji. Punktem zainteresowania służb energetycznych jest więc szukanie źródeł i możliwości oszczędzania energii elektrycznej, ale również dbałość o jej jakość. W ostatnich latach powstał program oszczędności energii elektrycznej obejmujący szereg inicjatyw. Prócz modernizacji parku maszynowego, wprowadzania nowych technologii produkcji, ogromny nacisk położono na zastąpienie starych wyeksploatowanych, często wielokrotnie przewyższających jednostek napędowych nowoczesnymi silnikami o wysokiej sprawności energetycznej w klasie IE3. W trosce o właściwą jakość energii elektrycznej i ograniczanie wszelkich zaburzeń sieciowych w zakładzie rozwiązano kompleksowo problem kompensacji mocy biernej. W dobie powszechnie stosowanych układów energoelektronicznych konieczne stało się także stosowanie urządzeń

ograniczających niekorzystne zjawiska sieciowe. Wszelkie stany dynamiczne, związane zwłaszcza z rozruchem dużych jednostek napędowych niekorzystnie wpływają na parametry jakościowe sieci elektroenergetycznej, co również negatywnie wpływa na inne urządzenia elektryczne (przyspieszona degradacja jednostek napędowych, migotanie światła itp.). Dla złagodzenia skutków rozruchu układów napędowych stosuje się różne układy rozruchowe, zarówno energoelektroniczne, jak i tradycyjne rozruszniki rezystancyjne oraz wiroprądowe. Jednostki o najwyższych mocach od 400...1250kW, 6kV uruchamiane są za pośrednictwem przemienników częstotliwości 6kV firmy Rockwell Automation, oraz rozruszników rezystancyjnych i wiroprądowych (w obwodzie wirnika silników asynchronicznych synchronizowanych). Silniki synchroniczne typu DC o mocach 900..1120kW, 6kV uruchamiane są jak silniki indukcyjne zwarte z wykorzystaniem klatki rozruchowej wirnika o biegunach wydanych. Dobór odpowiednich układów łagodzących rozruch, a jednocześnie zapewniających wymagany poziom momentu rozruchowego stanowi zatem istotny element ograniczania negatywnych zjawisk sieciowych i poprawy jakości energii elektrycznej.

2. Rodzaje układów rozruchowych

Stosowane w Oddziale Zakłady Wzbogacania Rud układy rozruchowe jednostek napędowych mogą pełnić funkcje:

- ograniczania prądów rozruchowych,
- ograniczania prądów rozruchowych i oszczędzania energii elektrycznej.

Urządzenia ograniczające wartości prądów rozruchowych to rozruszniki rezystancyjne i wiroprądowe oraz softstarty, natomiast urządzeniami rozruchowymi i oszczędzającymi energię elektryczną są przemienniki częstotliwości i wg zapewnień producentów i sprzedawców [1], [2] także urządzenia Powerboss i Power Optimizer, jako inteligentne sterowniki sieciowe. Aby określić wpływ rodzaju rozruchu na parametry sieci i wielkość zaburzeń sieciowych przebadano wpływ na sieć elektroenergetyczną rozruchów dużych jednostek napędowych z następującymi układami rozruchowymi:

1. Rozruch silnika asynchronicznego synchronizowanego 630kW, 6kV odbywa się za pomocą 9-stopniowej kaskady oporowej wpiętej w obwód wirnika. Silnik obciążony jest w granicach 60% mocy znamionowej.

2. Rozruch silnika synchronicznego 1120kW 6kV odbywa się za pomocą miedzianej klatki rozruchowej zabudowanej na wirniku. Silnik obciążony w granicach 65% mocy znamionowej.
3. Rozruch silnika asynchronicznego synchronizowanego odbywa się za pomocą rozrusznika wiroprądowego typu WIRLEG SAS 1250 firmy ABB Serwis z Legnicy (obecnie Partner Serwis) wpiętego w obwód wirnika. Silnik obciążony w granicach 65% mocy znamionowej.

Ponadto dla napędów 500V w sieci IT przebadano parametry jakości napięcia zasilającego podczas rozruchu i pracy silnika indukcyjnego z zastosowaniem przemiennika częstotliwości, oraz sterowników Powerboss i Power Optimizer dla identycznych warunków obciążenia. We wszystkich przypadkach pomiary wykonano analizatorem jakości energii klasy A typu PQ-Box100 wersja „Ekspert”. Wyniki pomiarów dają podstawę do wnioskowania o wadach i zaletach poszczególnych układów rozruchowych, ich wpływie na parametry jakościowe sieci elektroenergetycznej oraz potwierdzenia, bądź zanegowania przydatności sterowników typu Powerboss i Power Optimizer, jako urządzeń łagodzących rozruch i oszczędzających energię.

2.1. Rozruch silnika typu SAS i DC

Rozruch silników typu SAS 630kW, 6kV, 187,5 obr/min odbywa się przy pomocy rozruszników rezystorowych zabudowanych w obwodzie wirnika. Silniki te stanowią napęd młynów bębnowych. Napędom tym stawia się bardzo duże wymagania dotyczące momentu rozruchowego - rzędu 2,2...2,5Mn. Tym wymaganiom może sprostać silnik indukcyjny pierścieniowy z układem rozruchowym w obwodzie wirnika. Obciążenie robocze tych napędów kształtuje się w granicach 60..80% nominalnego obciążenia. W układzie rozruchowym zastosowano 9-cio stopniowy rozrusznik rezystancyjny, który spełnia podwójną rolę, tj. ogranicza prąd rozruchowy oraz tak kształtuje charakterystykę mechaniczną, by uzyskać wymagany moment rozruchowy. Po osiągnięciu prędkości podsynchronicznej silnik jest wprowadzany w synchronizm. Źródłem prądu stałego jest wzbudnica elektromaszynowa lub wzbudnica tyrystorowa. W badanym układzie występowała wzbudnica elektromaszynowa.

Silnik SAS w otoczeniu infrastruktury technicznej pokazano na rys. 1.

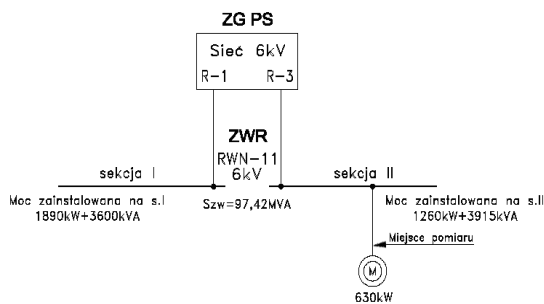


Rys. 1. Silnik napędu młyna bębnowego w otoczeniu urządzeń technologicznych

Drugim badanym przypadkiem jest rozruch i praca silnika typu SAS 1250kW, 6kV, 187,5 obr/min z układem rozrusznika wiroprądowego. Źródłem napięcia stałego jest wzbudnica tyrystorowa.

Trzecim badanym przypadkiem był rozruch i praca silnika synchronicznego typu DC 1100kW, 6kV, 166,6 obr/min. Silnik ten stanowi napęd młyna bębnowego. Rozruch tego silnika odbywa się przy pomocy klatki rozruchowej. Po osiągnięciu prędkości podsynchronicznej jest on wprowadzany w synchronizm. Źródłem prądu stałego jest wzbudnica tyrystorowa.

Schemat układu zasilania i miejsce pomiaru parametrów jakościowych silnika przedstawia rys. 1.



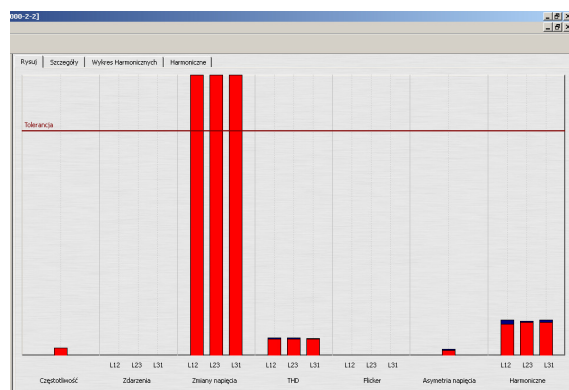
Rys. 2. Schemat układu zasilania silnika SAS

Obiektem zainteresowania był wpływ rozruchu tych silników na zaburzenia sieciowe. Porównanie zaburzeń wprowadzanych przez silniki z różnym rodzajem rozruchu daje odpowiedź, jaki rodzaj rozruchu korzystniej wpływa na sieć elektroenergetyczną i jej parametry. W niedostatecznie sztywnej sieci objawia się to waha-

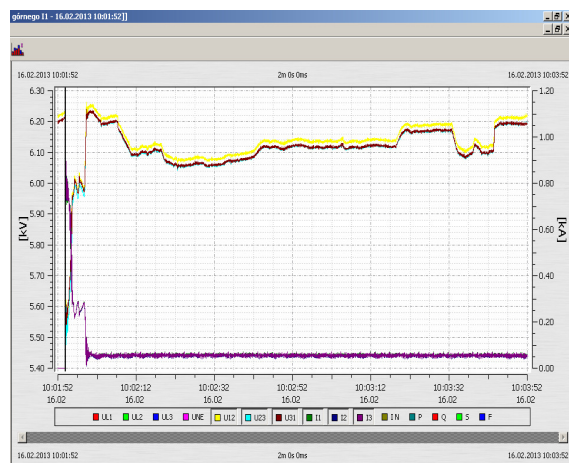
niami napięcia, zapadami [3][4]. Uzyskane podczas prowadzonych badań parametry jakościowe napięcia zamieszczono na poniższych wykresach.



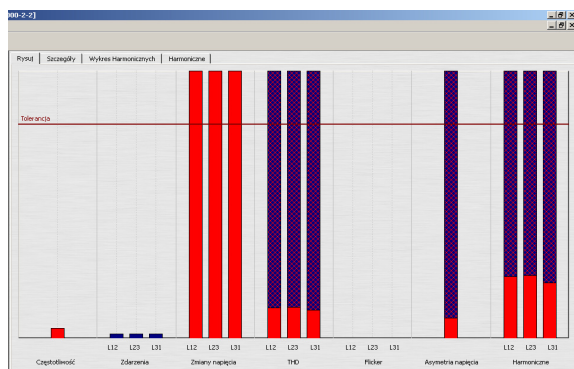
Rys. 3. Rozruch silnika SAS 630kW MK-152 – 9 stopni kaskada oporowa



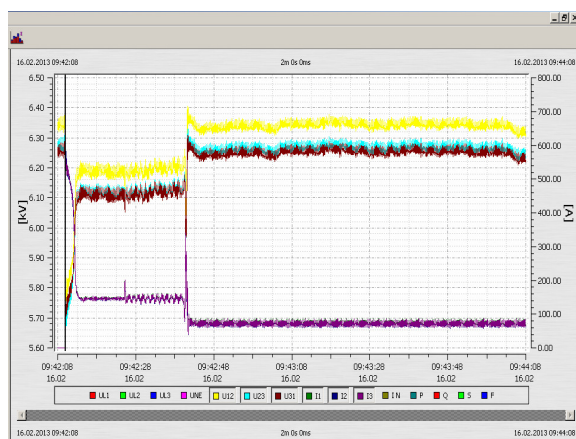
Rys. 4. Ocena parametrów jakości napięcia w trakcie rozruchu i pracy silnika SAS 630 kW



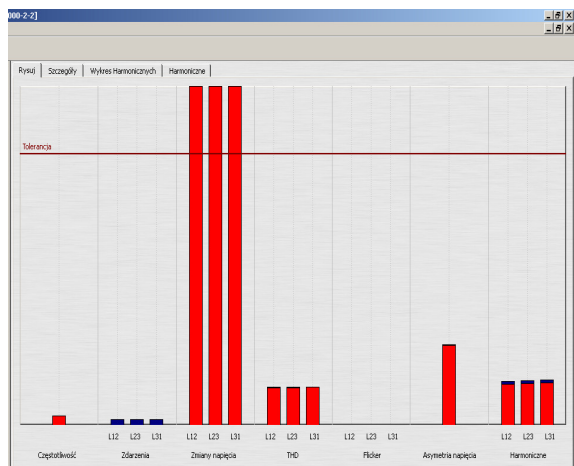
Rys. 5. Rozruch silnika DC 1120kW, MK- 253 – rozruch bezpośredni



Rys. 6. Rozruch i praca silnika DC 1120kW, MK-253 – ocena parametrów jakości napięcia



Rys.7. Uruchomienie SAS 1250KW– MK-351 za pomocą rozrusznika wiroprądowego w obwodzie wirnika



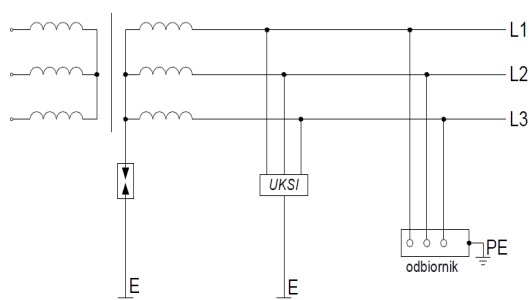
Rys. 8. ocena parametrów jakości napięcia w trakcie rozruchu i pracy silnik MK-351 1250kW

Z przeprowadzonej analizy wynika, że najkorzystniej z punktu widzenia wprowadzanych za-

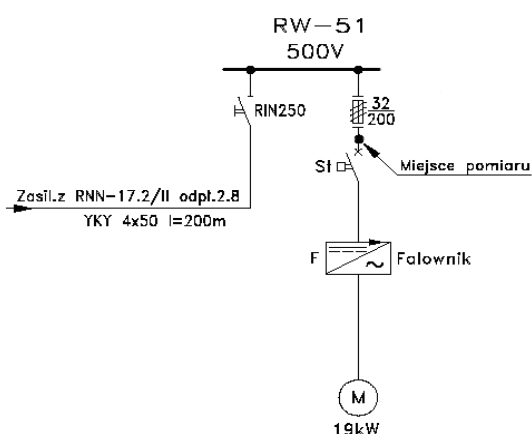
burzeń sieciowych wypada rozrusznik wiroprądowy w obwodzie wirnika. Prąd rozruchowy nie wykazuje większych zmian, a rozruch jest płynny bez wprowadzania zakłóceń sieciowych. Odnotowane tzw. wolne zmiany napięcia w sieci wynikają z charakteru obciążenia silnika w układzie z młynem bębnowym. Bardzo niekorzystnie wypada rozruch bezpośredni silnika synchronicznego. Wprowadza on bowiem duże zaburzenia sieciowe w postaci zmian napięcia (odnotowano zapady napięcia). Duży jest także udział harmonicznych i niesymetrii. Rozruch oporowy wprowadza mniejsze zaburzenia sieciowe. Maksymalny prąd w pierwszej fazie rozruchu silnika SAS 630kW wynosi około 400A i jest on około 4,5 razy większy od prądu nominalnego silnika. Analiza przebiegów RMS prądu pozwala stwierdzić, że opory rozruchowe tego silnika zostały źle dobrane lub niewłaściwie podłączone. Rozruch i praca silnika SAS z rozruchem oporowym w obwodzie wirnika wprowadza zaburzenia w postaci wolnych zmian napięcia, lecz pozostałe parametry jakościowe nie są przekraczane. Rozruch silnika SAS 1250kW z rozrusznikiem wiroprądowym ogranicza prąd rozruchowy. Maksymalny prąd w pierwszej fazie rozruchu wynosi około 560A i jest on około 4 razy większy od prądu nominalnego silnika. Rozruch i praca silnika SAS z rozrusznikiem wiroprądowym w obwodzie wirnika wprowadza do sieci zaburzenia w postaci wolnych zmian napięcia. W porównaniu z rozruchem oporowym krotność prądu rozruchowego jest w tym układzie mniejsza, a prąd w sposób płynny zmierza do wartości ustalonej, wynikającej z obciążenia.

2.2. Rozruch silnika indukcyjnego 500V

Objektem badań był rozruch oraz praca silnika indukcyjnego zwartego o mocy 19kW typu FSJOe62b, 2970 obr./min., stanowiącego napęd wentylatora osiowego zasilanego z sieci 500V w układzie sieciowym IT. Schemat sieci pokazano na rys.9 a schemat układu zasilania z zaznaczeniem miejsca pomiaru pokazano na rys.10.



Rys. 9. Schemat sieci w układzie IT



Rys. 10. Fragment sieci 500V zasilającej silnik indukcyjny poprzez przemiennik częstotliwości z zaznaczonym miejscem pomiarowym

Dla takich samych parametrów obciążenia dokonano pomiarów oddziaływania rozruchu i pracy silnika indukcyjnego zasilanego bezpośrednio z sieci, a także poprzez przemiennik częstotliwości oraz poprzez inteligentne sterowniki sieciowe Powerboss typ Integra Version 1.43. i Power Optimizer typ EC82D100-POL-I-5003450100 serial No: A2A010363.

Według zapewnień dostawcy, Powerboss to inteligentny sterownik, który doskonale sprawdza się we współpracy z napędami przenośników taśmowych. Ze względu na charakterystykę pracy przenośnika silniki są znacznie przewymiarowane, aby mogły podołać przeciążeniom jakie występują w trakcie rozruchu. Proces transportu nie odbywa się z jednakową intensywnością, lecz zależy od obciążenia taśmociągu surowcem, tak więc przez stosunkowo długie okresy czasu napęd pracuje z częściowym tylko obciążeniem lub w trybie biegu jałowego. Powerboss pozwala zoptymalizować pobór energii elektrycznej w czasie, co skutkuje zmniejszeniem jej poboru. W wypadku taśmociągów niezwykle ważną funkcją sterownika

Powerboss jest łagodny rozruch i zatrzymanie. Sterownik ten monitoruje nie tylko rozruch i zatrzymanie, ale cały czas pracy napędu.

Z kolei, według dostępnej literatury i zapewnień dostawcy, sterownik Power Optimizer w odróżnieniu od dotychczasowych rozwiązań powoduje obniżenie strat energii elektrycznej w instalacji oraz poprawia sprawność przemiany energii elektrycznej na inne energie: mechaniczną, ciepłą i świetlną. Power Optimizer nie reguluje mocy odbiorników w zależności od obciążenia oraz nie zmniejsza mocy urządzeń, jak to czynią niektóre inne rozwiązania stosowane np. w oświetleniu.

Power Optimizer powoduje, że prąd elektryczny przepływa ze źródła do odbiornika z mniejszymi stratami. Ta sama ilość energii jest dostępna dla odbiornika, ale zmniejsza się część strat energii, przez co zmniejsza się energia pobierana przez układ napędowy. Istotą zmniejszania energii pobieranej przez układ napędowy ze źródła energii elektrycznej przedstawia obrazowo rys. 11.



Rys. 11. Obrazowe przedstawienie istoty oszczędzania energii z Power Optimizerem

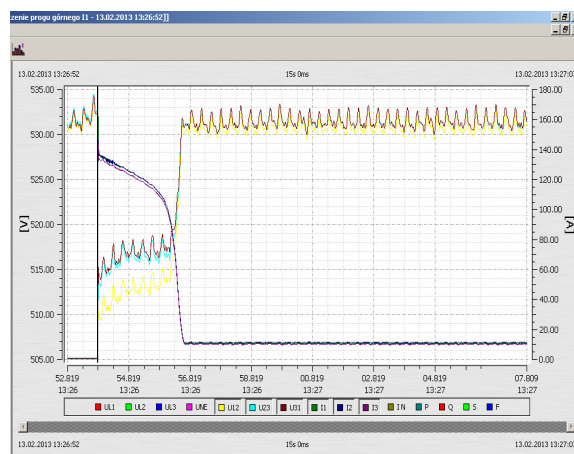
Power Optimizer redukuje straty energii i pozwala na przesył energii do odbiornika z mniejszymi stratami. W konsekwencji mniejsze straty energii prowadzą do zmniejszenia poboru energii ze źródła zasilania. Bez względu na to czy odbiornik zużywa energię kinetyczną, ciepłą lub świetlną uzyskujemy prawdziwe (nie wynikające ze zmiany warunków pracy obciążenia) oszczędności energii. Powstaje pytanie. Jak to jest możliwe, że stosując silniki o bardzo dużej sprawności np. 96% można jeszcze zwiększyć sprawność o kolejne kilkanaście procent?. Odpowiedź na to pytanie jest wyjątkowo prosta. Producenci urządzeń elektrycznych podają sprawność urządzeń porównując parametry elektryczne na zaciskach podłączeniowych do wykonanej pracy po przemianie energii. Z ich punktu widzenia jest to prawi-

dłowe podejście, ale użytkownika interesuje ile energii musi dostarczyć ze źródła, czyli ile musi zapłacić za wykonanie tej pracy. Wg producentów i sprzedawców Power Optimizer minimalizując straty transportu energii, pozwala zaoszczędzić energię na poziomie 10 do 25% !!! Zasada działania Power Optimizera jest oparta na teorii, która pozwala na wykorzystanie promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni do dokonywania zmian w przewodnikach prądu elektrycznego powodując znaczne zmniejszenie strat energii w czasie przepływu prądu. Teoria ta wykorzystuje zjawisko superpozycji fal do transportu prądu przez przewodnik. Wykorzystujemy fakt, że światło jest nie tylko falą elektromagnetyczną, ale i cząsteczką (dualizm korpuskularny) poprzez efekt fotoelektryczny. Interakcja pomiędzy fotonami (promieniowaniem widzialnym i bliskiej podczerwieni), a elektronami ostatnich orbit atomów (jonów) przewodnika i elektronami swobodnymi (przewodnictwa) pozwala na uzyskanie wielu zmian zachodzących w przepływie prądu. W zależności od charakteru obciążenia Power Optimizer potrafi spowodować poprawę współczynnika mocy (dla obciążeń indukcyjnych), zmniejszyć zawartość harmonicznych, znacznie ograniczyć przepięcia oraz szумы w obwodzie. Wszystko to prowadzi do zmniejszenia strat na ciepło Joule'a. Sterownik Power Optimizer przedstawia rys. 12.

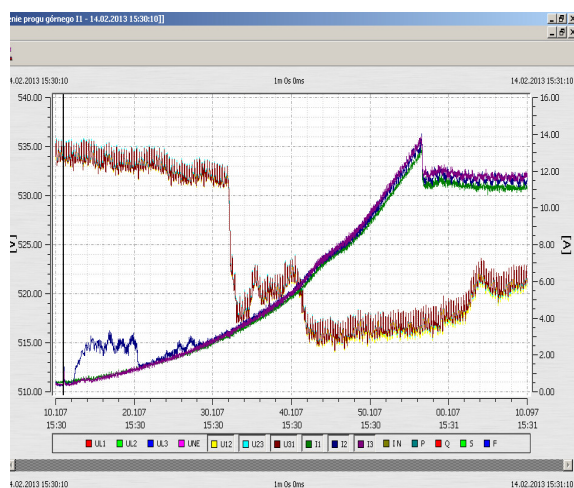


Rys. 12. Widok sterownika Power Optimizer

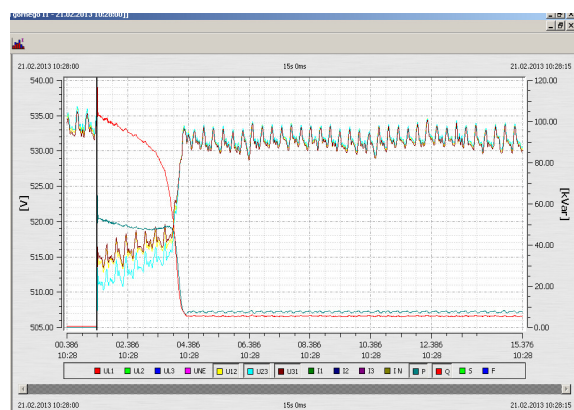
Wyniki pomiarów jakości energii i wpływu rozruchu na sieć zasilającą 500V, a także poboru mocy pobieranej przez ten napęd dla różnych układów zasilania i rozruchu przedstawiają poniższe wykresy.



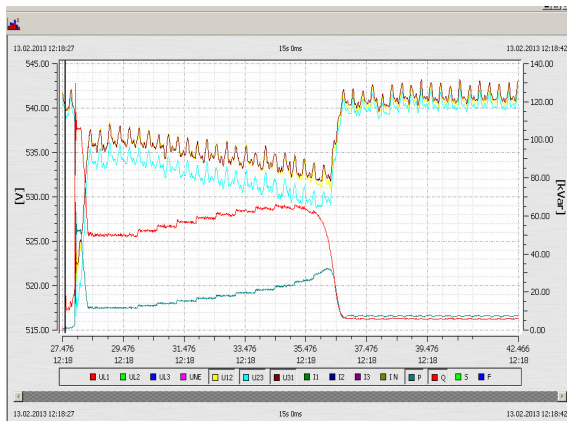
Rys. 13. Rozruch bezpośredni silnika z sieci 500V



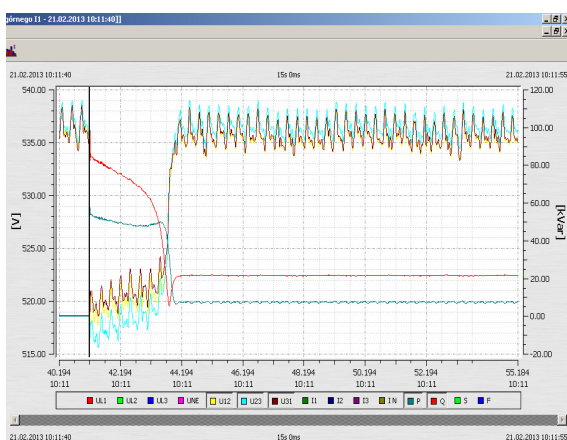
Rys. 14. Rozruch sil. za pomocą falownika



Rys. 15. Rozruch bezpośredni silnika 500V z rejestracją mocy czynnej i biernej



Rys. 16. Rozruch sil. za pomocą Powerbossa – pobór mocy czynnej i biernej z sieci 500V



Rys. 17. Rozruch sil. za pomocą Power Optimizera – pobór mocy czynnej i biernej z sieci 500V

Uzyskane wyniki pomiarów dla wymienionych układów pozwalają na ocenę wpływu Powerboss i Power Optimizer na parametry jakościowe sieci, a także na potwierdzenia bądź za negowanie możliwości oszczędzania energii poprzez zastosowanie tych sterownika w układzie zasilania silnika.

Wyniki badań tych sterowników nie potwierdzają przydatności urządzenia zarządzającego oszczędzającego energię elektryczną. Jedynie można dostrzec pozytywną cechę sterownika w zakresie łagodzenia prądów rozruchowych. Badania parametrów wyjściowych ze sterownika wskazują jednak na duże odkształcenie prądów i napięć wyjściowych, co niekorzystnie wpływa na pracę silnika i wymaga stosowania silników w wersji przeznaczonych do pracy falownikowej.

Najkorzystniej z punktu widzenia wprowadzania zaburzeń sieciowych wypada rozruch z zastosowaniem przemiennika częstotliwości. Rozruch przebiega płynnie, prąd rozruchowy nie

powoduje zaburzeń w postaci wahań napięcia i zwiększonych spadków napięć. Niestety parametry wyjściowe cechuje znaczne odkształcenie, co niekorzystnie wpływa na pracę jednostki napędowej. Z tego powodu konieczne jest stosowanie silników dedykowanych do pracy falownikowej. Powyższe stwierdzenia pokrywają się z wcześniejszymi badaniami sterowników Powerboss i Power Optimizer.

Pomiary dokonano w układzie napędowym silnika indukcyjnego o mocy 75kW z urządzeniem Power Optimizer, stanowiącego napęd maszyny flotacyjnej. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli nr 1.

Porównując średnie wartości poboru mocy czynnej, prądu i współczynnika $\cos\varphi$ bez Power Optimizera ze średnim obciążeniem z włączonym Power Optimizerem otrzymano następujące wyniki:

Tablica 1. Zestawienie porównawcze wyników pomiarów układu napędowego z włączonym Power Optimizerem i bez Power Optimizera

	I_{sr} [A]	P_{sr} [kW]	$\cos\varphi$
Bez Power Optimizer	81,77	50,65	0,71
Z Power Optimizer	69,79	52,30	0,85
Różnica w [%]	17,16	3,25	19,71

Zastosowanie Power Optimizer skutkuje obniżeniem poboru prądu o około 17%, wpływając tym samym pozytywnie na parametry eksploatacyjne silnika i sieci zasilającej. Obliczenia wykazują jednak, że w badanym okresie pobór mocy czynnej zwiększył się o około 3%.

Badanie efektów oszczędnościowych sterownika Powerboss realizowano poprzez pomiary obciążenia silnika na hamowni w zakresie momentu od 5,93Nm do 65,29Nm, identycznie dla silnika z Powerbossem i bez Powerbossa [5]. Wyniki badań przedstawiono w tabeli nr 2, 3 i 4 oraz na wykresie rys.18.

Tablica 2. Porównanie zawartości harmonicznych w przebiegu napięcia zasilającego silnik bezpośrednio i z użyciem sterownika Powerboss

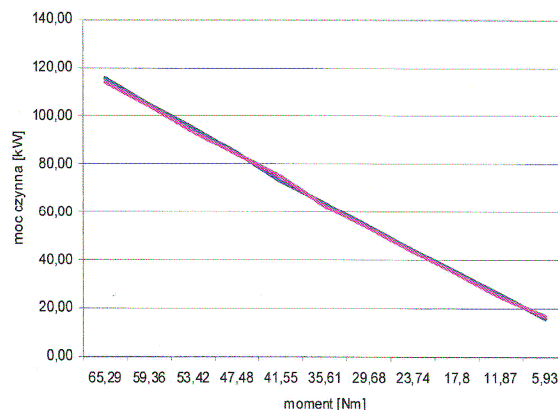
Lp.	Obciążenie	Moment	THD	
	%	Nm	Zasilanie bezp.	Powerboss
1	110	65,29	2,53	2,68
2	100	59,36	1,94	2,42
3	90	53,42	2,12	2,34
4	80	47,48	2,37	2,39
5	70	41,55	1,93	2,36
6	60	35,61	1,96	2,27
7	50	29,68	2,00	2,27
8	40	23,74	2,03	2,32
9	30	17,8	2,20	2,21
10	20	11,87	2,09	2,42
11	10	5,93	2,81	2,86

Tablica 3. Zestawienie poboru prądu, mocy czynnej i biernej napędu ze sterownikiem Powerboss

Lp.	Obciążenie	Moment	Napięcie silnika	Prąd silnika	S	Q	P
	%	Nm	V	A	kVA	kVar	kW
1	110	65,29	496,99	141,40	128,87	59,51	114,30
2	100	59,36	498,96	128,10	117,11	53,34	104,23
3	90	53,42	499,83	113,98	104,69	46,50	93,79
4	80	47,48	502,20	102,28	94,22	41,86	84,41
5	70	41,55	503,22	91,68	84,43	38,48	75,14
6	60	35,61	504,76	76,48	70,96	32,86	62,89
7	50	29,68	506,20	66,05	61,42	29,90	53,64
8	40	23,74	505,37	53,98	51,46	27,15	43,71
9	30	17,8	505,23	46,20	42,38	24,81	34,35
10	20	11,87	506,17	37,08	34,88	24,68	24,63
11	10	5,93	506,55	30,70	28,83	23,34	16,89

Tablica 4. Zestawienie poboru prądu, mocy czynnej i biernej napędu ze sterownikiem Powerboss

Lp.	Obciążenie	Moment	Napięcie silnika	Prąd silnika	S	Q	P
	%	Nm	V	A	kVA	kVar	kW
1	110	65,29	493,67	144,33	130,84	60,88	115,80
2	100	59,36	489,98	124,78	112,79	51,23	105,12
3	90	53,42	497,05	115,80	106,51	47,52	95,32
4	80	47,48	497,93	101,90	94,75	41,88	84,98
5	70	41,55	499,31	88,93	81,83	36,56	73,20
6	60	35,61	500,87	76,83	71,49	32,76	63,53
7	50	29,68	502,03	67,03	62,18	30,55	54,15
8	40	23,74	498,63	54,65	51,83	27,24	44,09
9	30	17,8	499,06	47,05	42,41	24,25	34,74
10	20	11,87	499,34	37,68	34,62	23,54	25,36
11	10	5,93	507,38	30,48	28,32	23,29	15,82



Rys. 18. Porównanie poboru mocy czynnej przez silnik zasilany bezpośrednio z sieci i poprzez sterownik Powerboss

3. Wnioski końcowe

1. W badanej sieci elektroenergetycznej nie stwierdzono przekroczenia parametrów jakościowych energii elektrycznej określonych w normie PN-EN 50160.
2. W sieci Śn występują bardzo liczne zaburzenia w postaci tzw. wolnych zmian napięcia.
3. Ze względu na duże nasycenie sieci elementami energoelektronicznymi także występują wyższe harmoniczne rzędów 5,7,11,13 itp. Jednak ich poziom nie przekracza wartości dopuszczalnych.
4. Rozruchy i praca dużych jednostek napędowych są źródłem licznie występujących zaburzeń sieciowych w postaci tzw. wolnych zmian napięcia.
5. Rodzaj zastosowanego sposobu rozruchu ma istotny wpływ na poziom zaburzeń sieciowych. W sieci 6kV najkorzystniej wypada rozruch silników SAS za pomocą rozruszników wiroprowadowych włączonych w obwód wirnika. Przeprowadzone badania potwierdzają słuszność przyjętego kierunku modernizacji układów napędowych z silnikami SAS. Ten rodzaj rozruszników jest aktualnie przyjęty w O/ZWR w modernizacjach układów napędowych opartych na silnikach SAS.
6. Najkorzystniejszy z punktu widzenia wprowadzanych zaburzeń sieciowych dla silników indukcyjnych zwartych jest rozruch przy pomocy przemiennika częstotliwości.
7. Sterowniki Powerboss i Power Optimizer są pozbawione elementów monitorujących ich pracę. Na zewnątrz nie informują użytkownika o poprawności pracy, awarii itp. Efekt jedynie niewielkiego łagodzenia rozruchu napędów nie jest wystarczającą zachętą do

ich zakupu. Zdecydowanie korzystniej wypada zastosowanie softstartów lub przemienników częstotliwości zamiast przedmiotowych sterowników.

8. Badane sterowniki typu Powerboss i Power Optimizer łagodzą nieco prądy rozruchowe, lecz nie potwierdza się ich przydatności jako urządzeń oszczędzających energię elektryczną. Parametry wyjściowe tych sterowników wykazują znaczne odkształcenia napięć i prądów, co ma negatywny wpływ na pracę jednostek napędowych. Nie rekomenduje się więc szerszego stosowania tych urządzeń również jako urządzenia łagodnego rozruchu.
9. Koszty zakupu tych urządzeń są porównywalne z kosztami zakupu przemienników częstotliwości. Jednostki napędowe w układzie z tymi sterownikami winny być przystosowane do pracy falownikowej.

4. Literatura

- [1]. Firma „EKSPERT” Lucyna Tomanek – *Przemysłowe zastosowanie Inteligentnego Sterownika Silnika POWERBOSS*.
- [2]. <http://www.energia.taniejeu/jak-działa-power-optimizer>.

[3]. Zbigniew Hanzelka, *Jakość energii elektrycznej, Część 2 – Zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu – wpływ na pracę napędów elektrycznych o regulowanej prędkości*.

[4]. PN-EN 50160 (1998) *Kompatybilność elektromagnetyczna. Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*.

[5]. *Raport z badań mocy pobranej przez silnik zasilany bezpośrednio z sieci oraz zasilany poprzez urządzenie Powerboss., Partner Serwis sp. z o.o. maj 2012r.*

Autorzy

Edward Pacholski*, Lesław Iskierski**

KGHM Polska Miedź S.A.

Oddział Zakłady Wzbogacania Rud

w Polkowicach

*Główny Inżynier ZWR ds. energetycznych,

Kierownik Wydziału Energetycznego

e-mail: e.pacholski@kghm.pl

**Główny Specjalista ds. utrzymania ruchu energetycznego ZWR

e-mail: l.iskierski@kghm.pl