

Wpływ jakości energii elektrycznej na funkcjonowanie kopalni

Streszczenie: W dzisiejszych czasach coraz bardziej rzeczywista staje się wizja inteligentnej kopalni. Niezbędne okazuje się wprowadzanie w układach napędowych coraz większej ilości szeroko pojętej elektroniki. Powszechne staje się zatem użytkowanie sterowników PLC oraz falowników. Niestety powoduje to coraz większe problemy z zapewnieniem dostatecznie wysokiej jakości energii elektrycznej, niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania maszyn wykorzystywanych w kopalniach rud miedzi, zwłaszcza ze względu na powszechność wyższych harmonicznych w sieciach zasilająco-odbiorczych. W kopalni istotne staje się zapewnienie dostatecznego poziomu bezpieczeństwa zarówno podczas normalnej pracy, jak i w stanach awaryjnych – celowe staje się zwiększenie pewności zasilania lub możliwość dostatecznie szybkiego wyłączenia zasilania w przypadku uszkodzeń. Ważne są również aspekty wpływu jakości energii elektrycznej na skuteczność działania środków ochrony przeciwprzepięciowej, zapewniających ograniczenie ewentualnych strat materialnych ponoszonych w przypadku awarii. Konkludując, niezbędne jest analizowanie jakości energii elektrycznej w celu zapewnienia poprawnej i bezpiecznej pracy układów napędowych eksploatowanych w kopalniach rud miedzi.

Słowa kluczowe: jakość energii, sieci neuronowe, wyższe harmoniczne, bezpieczeństwo pracy w kopalni, układy napędowe w kopalni.

Influence of electric energy quality on mine functioning

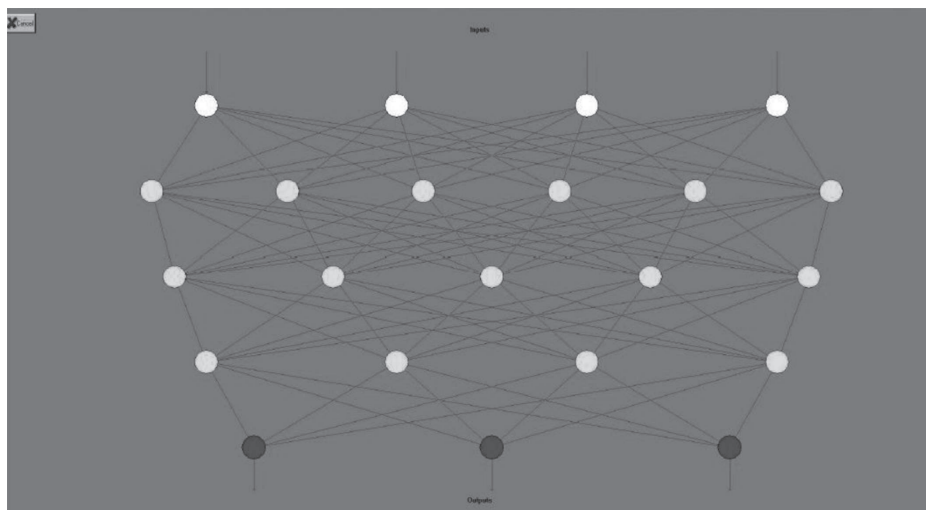
Summary: Intelligent mine is becoming a reality nowadays. There have to be used a lot of electronic elements. The use of PLC drivers and power inverters is really casual. However, it is also the cause of many problems with quality of electrical energy which electrical machines need to work properly. The safety of work during normal and emergency operation in mine is crucial. That requires higher continuity of power supply and fast switching of power supply. Besides, the influence of electrical energy quality on effectiveness of overvoltage protection helps to prevent huge material losses. In the end, the analysis of electrical energy quality is essential in providing correct and safe operation of electrical drivers in copper ore mines.

Keywords: quality of electricity, neural networks, higher harmonics, work safety in mine, drivers in mine.

1. Wprowadzenie

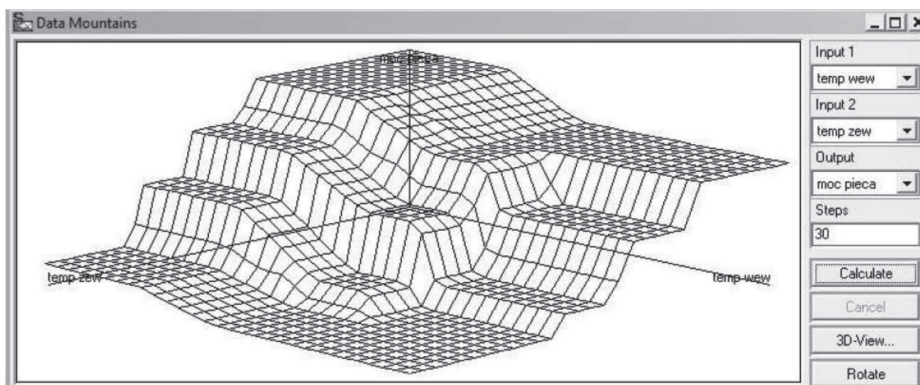
Idea inteligentnej kopalni w oczach wielu osób wygląda niczym scena z filmu *science fiction*, jednakże analiza planów KGHM Polska Miedź SA ukazuje, że ta wizja wkrótce może stać się rzeczywistością. W pełni zautomatyzowany cykl wydobywczy, z jak największym ograniczeniem obecności człowieka w najniebezpieczniejszych miejscach pod ziemią, stanie się możliwy dzięki sieciom neuronowym. Obecnie studentom Wydziału Elektroniki, Mikrosystemów i Fotoniki na Politechnice Wrocławskiej znany jest problem „wytrenowania” maszyn do samodzielnej pracy. W ramach zajęć dydaktycznych pn. algorytmy przetwarzania danych, prowadzonych na ww. wydziale autorka stworzyła sieć, która ma za zadanie sterować systemem pieca centralnego ogrzewania. Przyjęto zmienną zależną (moc pieca), która zależy od dwóch zmiennych: temperatury wewnątrz i na zewnątrz budynku. W zależności od tych temperatur układ sterujący sam dobierałby temperaturę pieca (bez ingerencji człowieka).

Na rysunku 1 przedstawiono przykład struktury sieci neuronowej. Natomiast na rysunku 2 zaprezentowano wynik przeprowadzonej symulacji dotyczącej działania pieca. Choć niniejszy przykład nie ma bezpośredniego odzwierciedlenia w pracy kopalni, ideę oraz sposób wykonania sieci w łatwy sposób można przełożyć na zastosowanie w kopalni rud miedzi, np. do sterowania systemami klimatyzacji (za zmienne należałoby przyjąć np. temperaturę otoczenia w danym miejscu wydobycia, zapylenie, planowane działania – np. czy dokonany zostanie odwiert lub detonacja).



Rys. 1. Struktura sieci neuronowej

Źródło: opracowanie własne w programie Qnet2000 Trial na podstawie [3].



Rys. 2. Wynik symulacji pracy pieca

Źródło: opracowanie własne w programie FCM na podstawie [3].

2. Jakość energii elektrycznej

Istotne, mimo wprowadzania nowych technologii, okazują się znane od dawna analizy działania maszyn zasilanych energią elektryczną. To właśnie jakość, definiowana jako zespół cech wyróżniających dany przedmiot [8], zapewnia dostatecznie bezpieczną i wydajną pracę tych maszyn i urządzeń. Pomimo oczywistych powodów pogarszania się stanu technicznego silników stosowanych do zasilania układów napędowych, za jakie należy uznać przede wszystkim trudne warunki panujące w zakładach górniczych, istotna jest analiza parametrów energii elektrycznej, takich jak:

- zmiany częstotliwości,
- wolne i szybkie zmiany napięcia,
- fluktuacje napięcia,
- krótkotrwałe i długotrwałe przerwy w zasilaniu,
- przepięcia,
- asymetria zasilania,
- zawartość wyższych harmonicznych.

Analiza tych czynników okazuje się niezbędna, ponieważ zaniedbanie chociaż jednego z nich może przynieść drastyczne skutki, np. przeciążenia silników, zbyteczne zadziałanie zabezpieczeń – odłączenie zasilania danej części systemu [4, 5]. Należy podjąć bardziej dokładną analizę wpływu każdego z czynników na wydajną, bezpieczną i długotrwałą pracę. Chociaż zmiany częstotliwości (nie większe niż 1% przez większość czasu dostarczania energii) [7] nie wpływają znacząco na pracę maszyn i urządzeń, to zmiany napięcia odgrywają istotną rolę w ich funkcjonowaniu. Już przy 10-procentowych zmianach napięcia może dochodzić do przeciążeń i wzrostów temperatury, a także trudności z rozruchem silników [9]. Szczególnie wrażliwe na wszelkie zmiany napięcia są układy

elektroniczne, używane najczęściej w układach napędzających i sterujących. W przypadku częstych fluktuacji napięcia dochodzi do uszkodzeń, a nawet zniszczenia tych elementów.

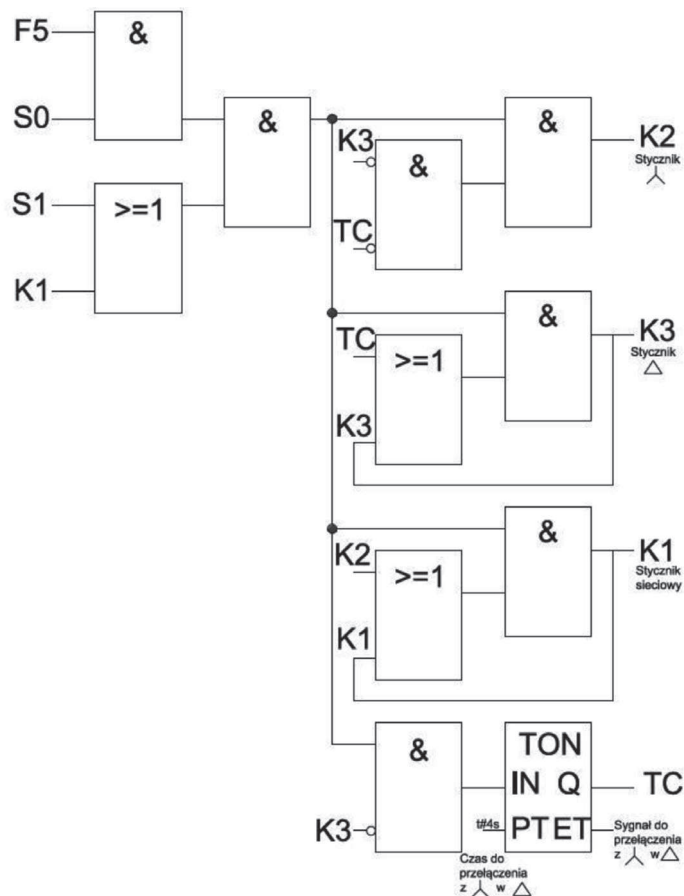
Z kolei asymetria zasilania może być przyczyną znacznych przyrostów temperatury oraz powstania momentu zmniejszającego moment użyteczny maszyny. Istotną rolę odgrywa zawartość wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym. Odształcenie sieci, definiowane przez współczynnik THD, określa zawartość wyższych harmonicznych w napięciu lub prądzie. Odbiornikami szczególnie wrażliwymi na odształcenia sieci są silniki elektryczne, z powodu momentów pasożytniczych generowanych przez wyższe harmoniczne, które mogą powodować wzrost momentu obciążenia, a w rezultacie, trudności w rozruchu. Potencjalnym zagrożeniem jest również wywołanie hałasu oraz silnych drgań.

Podsumowując, zbyt niska jakość energii może stwarzać nie tylko zagrożenie porażeniowe, ale również realne zagrożenie pożarowe. Doprowadzić do tego mogą w szczególności przegrzewające się silniki i uzwojenia oraz przewody zasilające. Niezbędna okazuje się więc analiza stanu bieżącego, gdyż wraz z rozwojem systemu elektroenergetycznego oraz odnawialnych źródeł energii, jak i coraz większą liczbą „zabrudzeń” sieci przez układy elektroniczne, obserwujemy ciągłe i dynamiczne zmiany w parametrach energii elektrycznej.

3. Elektroniczne układy sterujące

We współczesnych układach napędowych zamiast konwencjonalnych metod sterowania procesami przemysłowymi, czyli sterowania stycznikowo-przełącznikowego, coraz częściej wprowadza się sterowanie przy pomocy sterowników PLC. Dotychczasowe rozwiązania opierały się na zajmujących dużo miejsca stykach przycisków sterujących, łącznikach, czujnikach z elementami sterowanymi: cewkami styczników i przełączników. Rozwiązanie to, prócz pokaźnych rozmiarów, charakteryzuje się również trudnością w odnajdywaniu błędnych połączeń oraz w wprowadzaniu zmian w działaniu układu. W przypadku modyfikacji zmuszeni jesteśmy do przerobienia poszczególnych połączeń. Ich duża liczba zazwyczaj jeżeli nie uniemożliwia, to skutecznie komplikuje jakiegokolwiek przeróbki.

Z kolei sterowniki PLC są całkowicie programowalne i charakteryzują się prostotą zmiany działania układu sterowania. Wymaga ona jedynie zmiany w programie. Dodatkowo wszystkie układy są podłączone bezpośrednio do sterownika – układy sterujące do jego wejść, a układy sterowane do jego wyjść. Sterowniki PLC pozwalają na prostą i szybką obsługę sterowania procesami przemysłowymi. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy program napisany w języku FBD do sterowania rozruchem gwiazda-trójkąt silnika indukcyjnego.



Rys. 3. Przykład programu sterowania w języku FBD dla sterownika PLC do automatycznego sterowania rozruchem gwiazda-trójkąt silnika indukcyjnego [6]

Źródło: opracowanie własne.

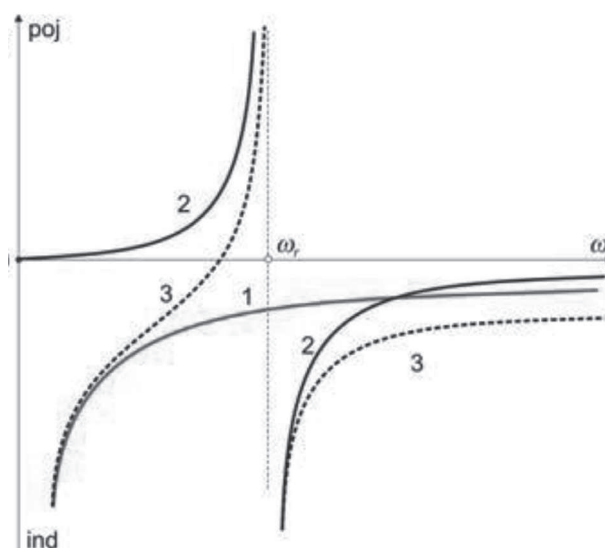
Zastosowanie w sterowaniu procesami przemysłowymi znajduje też technika mikroprocesorowa. Przyjęto definicję mikroprocesora jako procesora wykonanego w postaci pojedynczego mikroukładu o wielkim stopniu scalenia [2]. Same mikroprocesory nie są jednak zdolne do samodzielnej pracy. Potrzebne są dodatkowe układy wejścia-wyjścia oraz pamięć. Całość, mikroprocesor z układami dodatkowymi, tworzą mikrokomputer, który może być sterowany za pomocą kompilatora obsługującego wybrany język programowania: ANSI C lub Asembler.

Jednak, mimo oczywistych zalet, to właśnie układy elektroniczne są przyczyną występowania wyższych harmonicznych w sieci zasilającej. Dlatego ważne jest ograniczanie negatywnych skutków pogarszania się jakości energii elektrycznej, np. przez zastosowanie filtrów wyższych harmonicznych.

4. Poprawa jakości energii elektrycznej

Obecnie nie sposób wyobrazić sobie jakichkolwiek układów napędowych czy sterujących bez zastosowania przekształtników elektronicznych. Ich praca jednak wywiera bardzo niekorzystny wpływ na sieć zasilającą, powodując m.in.: odkształcanie się przebiegów napięć wskutek występowania wyższych harmonicznych oraz występowanie złań związanych z komutacją.

Istotnym problemem, na który autorzy chcieliby zwrócić uwagę, są właśnie wyższe harmoniczne, powodujące nie tylko odkształcanie przebiegów napięcia, ale również wzrost jego wartości skutecznej, mogące w rezultacie doprowadzić do zwiększenia strat mocy w sieci (np. w transformatorach czy generatorach). Co jednak zrobić, żeby zminimalizować skutki występowania wyższych harmonicznych? Na etapie projektowania możliwe jest zastosowanie tzw. układów przekształtnikowych o zmniejszonym oddziaływaniu na sieć zasilającą, które realizuje się przez zwiększenie reaktancji układu zasilania przekształtnika lub przez stosowanie przekształtników wielopulsowych. Najczęściej jednak jedyną możliwą drogą postępowania staje się ograniczanie skutków wyższych harmonicznych, a nie zapobieganie przyczynom ich występowania.



Rys. 4. Charakterystyka współpracy sieci i filtra wyższej harmonicznej: 1 – admitancja sieci, 2 – admitancja filtra, 3 – admitancja wypadkowa [10]

Źródło: opracowanie własne.

Najczęstszym sposobem redukcji wyższych harmonicznych z sieci zasilającej są filtry wyższych harmonicznych. Realizuje się to poprzez dołączenie do źródła harmonicznych boczniaka o charakterze reaktancyjnym. Reaktancja takiego dwójnika powinna być

minimalna dla częstotliwości harmonicznej, którą chcemy wyeliminować. Dzięki temu tworzymy dodatkową gałąź, przez którą przedostaje się prąd eliminowanej harmonicznej, zamiast płynąć siecią zasilającą. Przykład współpracy sieci i filtra wyższych harmonicznych został zaprezentowany na rysunku 4.

5. Bezpieczeństwo

Niezbędne z punktu widzenia bezpieczeństwa w kopalniach jest zapewnienie przede wszystkim nieprzerwanych dostaw energii. Za pierwszy istotny aspekt można uznać zagwarantowanie funkcjonowania dźwigów umożliwiających zjazdy i wjazdy górników. Przede wszystkim ważna jest możliwość wydobycia pracowników spod ziemi niezależnie od sytuacji, gdyż na powierzchni są oni bezpieczniejsi niż na dole. Tu istotne jest zapewnienie właśnie niezawodności zasilania układów dźwigowych. Kolejnym aspektem jest utrzymanie odpowiedniej temperatury w kopalni. To właśnie klimatyzatory pozwalają na zapewnienie odpowiednich warunków pracy, a do ich funkcjonowania niezbędna jest energia eklektyczna. Trudno sobie wyobrazić pracę w warunkach dołowych we wzrastającej temperaturze. Ważne jest również utrzymanie nieprzerwanego zasilania, gdyż w trakcie eksploatacji lub/i prac remontowych brak prądu może spowodować niezachowanie przez pracowników procedur związanych z bezpieczną pracą przy maszynach, a co za tym idzie, narazić ich zdrowie lub/i nawet życie poprzez porażenie bezpośrednie lub łuk elektryczny powstały w wyniku anomalii pracy.

Zarząd spółki KGHM Polska Miedź SA ma świadomość, jak ważne jest niedopuszczenie do braku zasilania, gdyż już w 2014 r. uruchomił zespół bloków gazowo-parowych w Polkowicach i Głogowie. Zespół ten ma na celu przede wszystkim zapewnić niezależność zasilania (pokrywać ma ok. 25% zapotrzebowania na energię elektryczną – co pozwoli na nieprzerwaną pracę najważniejszych urządzeń niezależnie od sytuacji w Krajowym Systemie Energetycznym). Inwestycja ta, oprócz oczywistych korzyści związanych z poprawą bezpieczeństwa energetycznego w holdingu miedziowym, ma również pozytywny wpływ na środowisko, gdyż w znacznym stopniu ogranicza emisję CO₂ do otoczenia (w porównaniu do źródeł konwencjonalnych – węglowych) [1].

6. Podsumowanie

Podsumowując, ważne jest, aby stale i na bieżąco analizować jakość energii elektrycznej w sieciach zasilających kopalnie KGHM Polska Miedź. Choć autorzy skupili się przede wszystkim na wpływie nieprzerwanych dostaw energii oraz zawartości wyższych harmonicznych, istotna jest również głębsza analiza problemu chociażby pod kątem niezawodności działania zabezpieczeń elektroenergetycznych, w przypadku nieutrzymywania energii o dostatecznie wysokiej jakości. Dokonano przeglądu stosowanych metod i przeanalizowano ich wpływ na sieć oraz zaprezentowano sieć neuronową jako nowe rozwiązanie.

Literatura

1. <http://kghm.com/pl/kghm-uruchamia-pierwsze-bloki-gazowo-parowe>, stan z dnia 4.05.2015.
2. Dyrzc K., materiały pomocnicze do wykładu „Podstawy techniki mikroprocesorowej”, Politechnika Wrocławska, W-5, 2013.
3. Krysztof M., materiały pomocnicze do laboratorium „Algorytmy przetwarzania danych”, Politechnika Wrocławska, W-12, 2014.
4. Markiewicz H., Klajn A., *Wpływ zmian parametrów określających jakość energii elektrycznej na pracę odbiorników*, PCPM, nr 02/03, 2001, Wrocław 2001.
5. Marszałkiewicz K., referat *Jakość energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych*, ELMA ENERGIA.
6. Orłowska-Kowalska T., *Napęd elektryczny – ćwiczenia laboratoryjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
7. Polska Norma: PN-EN 50160: 2010, *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych*.
8. *Słownik Języka Polskiego PWN*, <http://sjp.pwn.pl/szukaj/jakość.html>, stan z dnia 4.05.2015.
9. Strzałka-Gołuszka K., Strzałka J., *Jakość energii elektrycznej i jej wpływ na pracę urządzeń elektrycznych*.
10. Szkółka S., Stosur M., Borecki J., *Energoelektronika: podstawy i wybrane zastosowania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.