

ANALIZA PARAMETRÓW SIECI WEWNĄTRZZAKŁADOWEJ PRZY WYKORZYSTANIU SYSTEMU BMS i PME

Kamil KOŁODZIEJ

Nienadówka 30, 36-050 Sokołów Małopolski
e-mail: kamil2222pl@wp.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów związane z analizą parametrów sieci wewnątrzzakładowej średniego oraz niskiego napięcia przy wykorzystaniu nowoczesnych systemów automatyki budynkowej. Na wstępie artykuł omawia zagadnienia związane ze strukturą systemów BMS i PME. W punkcie tym przedstawiona została struktura tych systemów. Dokonano ich porównania a także przedstawiono możliwości analizy przy wykorzystaniu analizatorów parametrów sieci. Kolejno przedstawiony i omówiony został schemat układu zasilającego zakładu przemysłowego w którym przeprowadzono badania. Przy tej okazji omówione zostały wybrane parametry związane z jakością energii elektrycznej.

Dla celów odniesienia przytoczony został, symetryczny układ napięć i prądów służący za model teoretyczny. Przy tym zdefiniowane zostały współczynniki asymetrii napięć, prądów oraz współczynniki THD dla tych przebiegów. Następnie w artykule zostaje przedstawiony i omówiony tok procesu pomiarowego, którego wynikiem są zebrane wartości pomiarowe służące do określenia wybranych parametrów. Wartości te w dalszej części artykułu przyczyniają się do statystycznego określenia poziomów wartości wybranych parametrów. Na ich podstawie zostaje określona asymetria napięć oraz prądów, a także zawartości THD dla poszczególnych obiektów. Dzięki uzyskanym wynikom pomiarów możliwe było statystyczne oszacowanie jakości zasilania oraz charakteru obciążenia dla poszczególnych transformatorów. Poza tym badania te pozwalają stwierdzić, które obiekty należy poddać dogłębnej analizie w celu określenia odbiorników, które w największym stopniu przyczyniają się do pogorszenia parametrów sieci wewnątrzzakładowej. Artykuł kończy się zebraniem wniosków z przeprowadzonej analizy oraz podsumowaniem.

Słowa kluczowe: wyższe harmoniczne, jakość energii elektrycznej, BMS, PME.

1. WPROWADZENIE

Ciągły rozwój nauki i techniki, przekłada się na znaczący postęp w dziedzinie elektrotechniki i elektroniki. Rozwój ten niesie za sobą opracowywanie coraz to nowych urządzeń, które są implementowane w wielu obszarach przemysłu czy życia codziennego. Obecnie znaczna część z tych urządzeń zbudowana jest w oparciu o elementy półprzewodnikowe, które często podlegają skomplikowanym algorytmom sterowania. Zabiegi te mają na celu np. poprawę efektywności energetycznej danego urządzenia, czy zwiększenie jego funkcjonalności i wydajności. Urządzenia te ze względu na swoją zasadę działania są często nieliniowymi odbiornikami energii elektrycznej. Oznacza to, że pobierają z linii elektroenergetycznej głównie niskich

napięć prądy odkształcone o dużej zawartości wyższych harmonicznych. Odkształcenia prądów oraz ich asymetria powodują z kolei odkształcanie napięć zasilających oraz wzrost strat mocy w urządzeniach elektroenergetycznych. Wszystko to prowadzi do pogorszenia parametrów sieci elektroenergetycznej, co przekłada się na zwiększenie strat energii, a także stwarza realne zagrożenie nieprawidłową pracą a nawet uszkodzeniem urządzeń wrażliwych na zakłócenia. Patrząc z perspektywy automatyzacji procesów produkcyjnych w obiektach przemysłowych efekt tych zakłóceń może mieć wpływ na zdolność produkcyjną zakładu oraz nieprzewidziane przestoje powodowane przez awarie urządzeń. Z uwagi na to coraz częściej zakłady produkcyjne decydują się na zastosowanie szeregu rozwiązań mających na celu analizę, wykrywanie oraz ostrzeganie o ewentualnych zakłóceniach oraz źródłach ich powstawania. Jednym z tego typu rozwiązań stosowanych w przemyśle może być zastosowanie systemu BMS (ang. Building Management System) czy PME (ang. Power Monitoring Expert). System BMS z uwagi na rozbudowane narzędzia programistyczne oraz odpowiednią strukturę sieci i urządzeń staje się idealnym narzędziem, do monitoringu, zarządzania, sterowania oraz kontroli obszarów przemysłowych wyposażonych w różnego typu instalacje i media. Dzięki szerokiemu zastosowaniu sterowników PLC i urządzeń wykonawczych posiada on znaczne możliwości komunikacyjne oraz sterownicze.

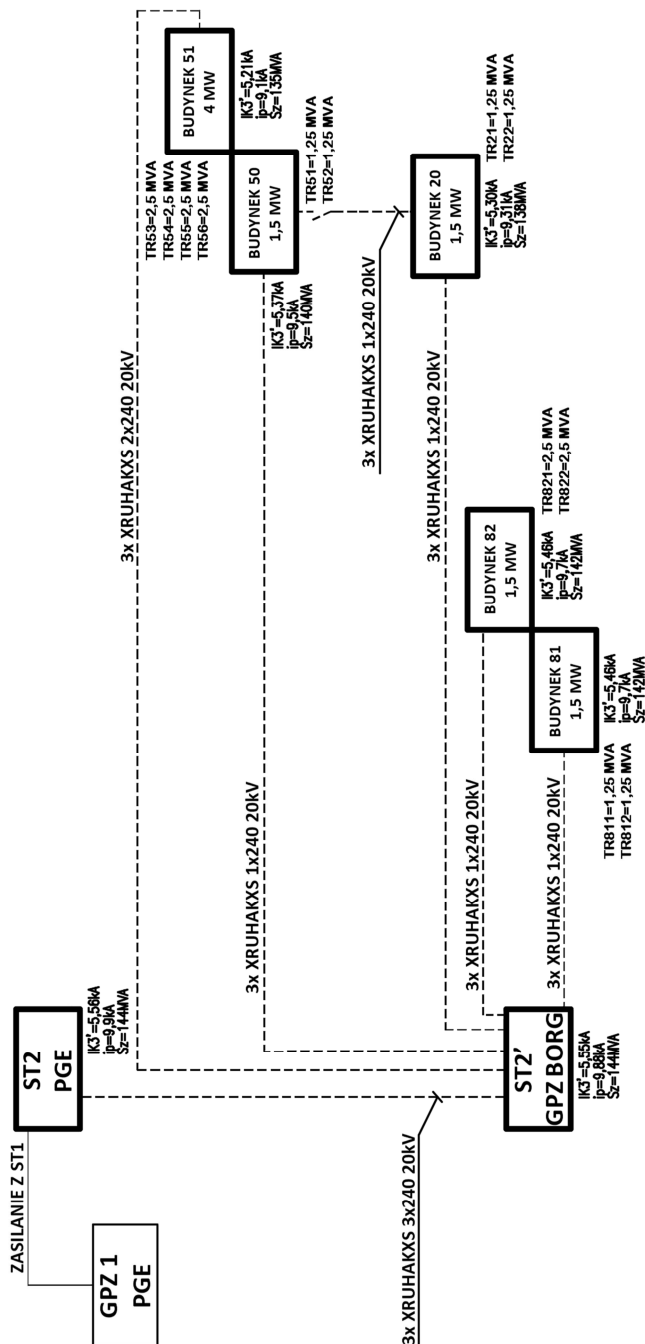
System PME w odróżnieniu od systemu BMS służy głównie do monitoringu i zarządzania mediami, ze szczególnym naciskiem na zarządzanie energią elektryczną, w której zakresie posiada zaawansowane możliwości jej analizy.

Każdy z tych systemów w celu zbierania danych i przechowywania ich we własnej bazie SQL (ang. Structured Query Language) korzysta z okablowania strukturalnego, dedykowanych serwerów, sterowników PLC oraz urządzeń pomiarowych zainstalowanych na obiekcie. Obydwa te systemy mogą występować wspólnie jako jedna spójna całość współdzieląc tą samą sieć strukturalną i zasoby sprzętowe. Co więcej w przypadku ich sprzęgnięcia istnieje możliwość wymiany danych pomiędzy nimi a także współdzielenia baz danych SQL.

Dzięki protokołom komunikacyjnym takim jak Modbus TCP/IP, RTU czy LonWorks dane z urządzeń pomiarowych przesyłane są do głównego serwera BMS czy PME gdzie są obrabiane i przechowywane. W przypadku rozbudowanych

systemów dane te mogą być zbierane jednocześnie z dużej liczby urządzeń dzięki czemu istnieje szeroki zakres możliwości analizy. Analiza ta jest szczególnie istotna w przypadku dużych zakładów przemysłowych, które zasilane są z sieci dystrybucyjnej napięciem 110 kV lub 15 kV.

2. SPOSOBY POMIARU PARAMETRÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZY WYKORZYSTANIU SYSTEMU BMS, PME



Rys. 1. Schemat zasilania zakładu przemysłowego BorgWarner Poland Sp.z.o.o.

Niezawodność oraz ciągłość zasilania jak również jego odpowiednia jakość jest podstawowym wymaganiem stawianym sieci oraz instalacji elektrycznej zasilającej obiekty przemysłowe. Obiekty te z reguły zasilane są napięciem 15 kV z GPZ (główny punkt zasilania) ze względu na zainstalowane moce dochodzące do kilkudziesięciu MVA. Zazwyczaj odbywa się to poprzez

dystrybucję energii z poziomu średniego napięcia SN z GPZ-tu do poszczególnych rozdzielni i budynków co przedstawia rysunek 1.

Przedstawiono na nim schemat układu zasilania dla zakładu przemysłowego BorgWarner Poland Sp.z.o.o. zlokalizowanego w Jasionce 950. Kolejno każda z rozdzielni SN na poszczególnym obiekcie zasilane w nim transformatory 15/0,4 kV, które odpowiadają za dostarczanie energii do rozdzielni głównych. Rozdzielnie główne z kolei poprzez szynoprzewody i tory silnoprądowe zasilają wszystkie odbiorniki zainstalowane na obiekcie.

Patrząc z perspektywy analizy zużycia energii elektrycznej oraz parametrów zasilania tego typu zakładów kluczowym staje się pomiar po stronie średniego oraz niskiego napięcia. W tym celu stosowane są analizatory sieci, do których podłączone są przekładniki napięciowe (pomiar dla SN) oraz prądowe o odpowiednio dobranych przekładniach. Obecne analizatory sieci np. PM820 [1] serii PM800 stanowią zaawansowane narzędzia pomiarowe, które dostarczają dużej ilości informacji potrzebnej do oceny parametrów jakościowych oraz ilościowych energii elektrycznej. Analizatory tego typu próbują sygnał pomiarowy z przekładników z częstotliwością 128 próbek na 1 okres (50/60 Hz) przebiegu napięcia czy prądu z dokładnością do 0,1% (w typowych warunkach). Posiadają pomiar wartości RMS (ang. Root Mean Square) do 63-harmonicznej czy pomiar jakości energii elektrycznej wyrażany przy pomocy współczynnika THD (ang. Total Harmonic Distortion). W swej budowie wewnętrznej zawierają dwa rodzaje pamięci. Szybka pamięć podręczna, która służy do chwilowego zapisu wartości z próbkowania oraz wolniejszą pamięć stałą. W wolniejszej pamięci przechowywane są informacje, na temat pomiarów realizowanych podczas normalnej pracy analizatora. Poza pomiarem i kalkulacją podstawowych wartości takich jak napięcia, prądy, moce, czy energia analizator posiada również zaawansowane analizy zapadów, pików czy asymetrii napięć i prądów. Dodatkowo dzięki szybkiej pamięci podręcznej analizator posiada możliwość „zrzutu” do pamięci podstawowej (wolniejszej) próbek z przebiegu zakłóconego oraz informacji na jego temat. Dzięki temu możliwe jest „wychwycenie” oraz odtworzenie z historii analizatora kształtu przebiegu zakłóconego oraz podstawowych informacji na jego temat. Podsumowując analizatory tego typu wraz z systemem zbierania i obróbki danych stanowią doskonałe narzędzie do tego typu zastosowań i analiz.

3. ANALIZA PARAMETRÓW SIECI WEWNĄTRZZAKŁADOWEJ

Powyższy artykuł oparto na analizie parametrów sieci zasilającej w zakładzie przemysłowym BorgWarner Poland Sp.z.o.o. z siedzibą w Jasionce 950.

W celu analizy wykorzystano analizatory parametrów sieci Schneider Electric serii PM800.

Przechodząc do analizy parametrów sieci wewnątrzzakładowej w wyniku opracowanych tematów (tabeli z odpowiednimi rejestrami w komunikacji Modbus odwołującymi się do danej zmiennej z analizatora PM) dla wybranych analizatorów dokonano analizy parametrów:

- asymetrii prądów;
- asymetrii napięć międzyfazowych;
- THD prądów w przewodach fazowych;
- THD napięć międzyfazowych;

- prądu w fazie L1 oraz przewodzie neutralnym;
- THD prądu w przewodzie neutralnym.

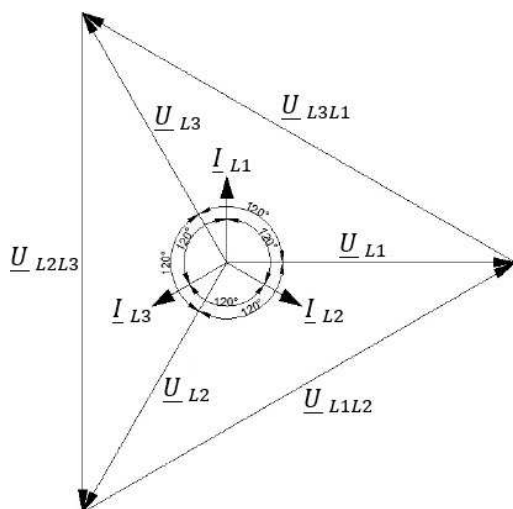
Analizy powyższych parametrów dokonano dla punktów pomiarowych:

- GPZ ST2' pole 1 (pole zasilające GPZ ST2' SN);
- OB. 20 RG22 (zasilanie rozdzielni głównej nN z transformatora TR22);
- OB. 50 RG52 (zasilanie rozdzielni głównej nN z transformatora TR52);
- OB. 51 RG53 (zasilanie rozdzielni głównej nN z transformatora TR54);
- OB. 51 RG56 (zasilanie rozdzielni głównej nN z transformatora TR56);
- OB. 82 RG821 (zasilanie rozdzielni głównej nN z transformatora TR821).

W poszczególnych obiektach zainstalowane są transformatory suche 1,25 MVA oraz 2,5 MVA o grupach połączeń Dyn5 i napięciu zwarcia 6%, co przedstawia rysunek 1. Połączenie uzwojenia pierwotnego transformatora w trójkąt powoduje eliminację 3 harmonicznej strumienia, zatem prąd przewodowy i napięcia są jej pozbawione. Prąd 3 harmonicznej zamyka się wewnątrz trójkąta w rezultacie czego napięcia po stronie wtórnej transformatora nie ulegają odkształceniom tą harmoniczną.

W wyniku stworzonych szablonów w systemie BMS TAC Vista Schneider Electric dokonano odczytów 88 wartości pomiarowych z powyższych punktów pomiarowych. Badania zostały wykonane w terminie od 23.04.00:01.2018 do 22.07.24:00.2018 co daje łącznie 12 tygodni.

Pomiar każdej z wielkości został dokonany z krokiem 1 minuty co daje łącznie 10 642 368 wartości pomiarowych. Aby dokonać analizy tak znaczącej ilości próbek pomiarowych koniecznym staje się obliczenie wartości średnich a następnie ich statystyczne opracowanie i porównanie. W wyniku tych obliczeń wyznaczono wykresy słupkowe obrazujące podstawowe wartości parametrów zasilania. Aby móc dokonać ich analizy należy w pierwszej kolejności zdefiniować układ symetryczny napięć i prądów, który posłuży za model teoretyczny w praktycznych rozważaniach asymetrii napięć i prądów.



Rys. 2. Wykres wektorowy symetrycznego układu napięć i prądów [2]

Z rysunku 2 wynikają podstawowe zależności:

$$\underline{U}_{-L1} = \underline{U}_{L1} \quad (1)$$

$$\underline{U}_{-L2} = a^2 \underline{U}_{L1} \quad (2)$$

$$\underline{U}_{-L3} = a \underline{U}_{L1} \quad (3)$$

$$\underline{U}_{-L1L2} = \underline{U}_{L1L2} \quad (4)$$

$$\underline{U}_{-L2L3} = a^2 \underline{U}_{L1L2} \quad (5)$$

$$\underline{U}_{-L3L1} = a \underline{U}_{L1L2} \quad (6)$$

$$\underline{I}_{-L1} = \underline{I}_{L1} \quad (7)$$

$$\underline{I}_{-L2} = a^2 \underline{I}_{L1} \quad (8)$$

$$\underline{I}_{-L3} = a \underline{I}_{L1} \quad (9)$$

gdzie: \underline{U}_{-L1} , \underline{U}_{-L2} , \underline{U}_{-L3} - napięcia fazowe, \underline{U}_{-L1L2} , \underline{U}_{-L2L3} , \underline{U}_{-L3L1} - napięcia międzyfazowe, \underline{I}_{-L1} , \underline{I}_{-L2} , \underline{I}_{-L3} - prądy fazowe, a - operator obrotu o 120° , a^2 - operator obrotu o 240° .

Układ trójfazowy jest więc symetryczny napięciowo, jeśli wektory napięć fazowych są przesunięte względem siebie o 120° oraz ich wartości skuteczne są sobie równe. Wynika z tego, że w układzie symetrycznym suma wartości zespolonych napięć fazowych będzie równa 0. Identyczne warunki można zapisać dla napięć międzyfazowych oraz prądów fazowych płynących w obwodzie elektrycznym. Na podstawie powyższych tez można stwierdzić, że układ określa się niesymetrycznym, gdy napięcia lub prądy nie są przesunięte w fazie o wartości operatorów obrotu a i a^2 oraz gdy ich wartości skuteczne nie są sobie równe [2].

Aby dokonać opisu ilościowego zjawiska asymetrii napięć i prądów stosuje się więc współczynniki asymetrii. Jednym ze sposobów ich wyznaczenia jest analityczny rozkład układu trójfazowego wektorów napięć i prądów na sumę składającą się z trzech symetrycznych układów: kolejności zgodnej, przeciwnej oraz zerowej.

Zazwyczaj współczynniki te odnoszą wartości składowej kolejności przeciwnej lub/i zerowej do wartości składowej symetrycznej kolejności zgodnej [3]. Dla napięć współczynniki asymetrii określają następujące zależności:

$$\alpha_{u2} = \frac{U_2}{U_1} * 100\% \quad (10)$$

$$\alpha_{u0} = \frac{U_0}{U_1} * 100\% \quad (11)$$

$$\alpha_u = \frac{|U_2+U_0|}{U_1} * 100\% \quad (12)$$

gdzie: U_1 , U_2 , U_0 - składowe symetryczne napięcia kolejności zgodnej, przeciwnej i zerowej, α_{u2} , α_{u0} , α_u - kolejno współczynniki asymetrii przeciwnej, zerowej i całkowitej napięć fazowych.

Analogicznie podstawiając w miejsca składowych symetrycznych napięć fazowych wartości składowych symetrycznych prądów otrzymać można współczynniki asymetrii prądów:

$$\alpha_{i2} = \frac{I_2}{I_1} * 100\% \quad (13)$$

$$\alpha_{i0} = \frac{I_0}{I_1} * 100\% \quad (14)$$

$$\alpha_i = \frac{|I_2+I_0|}{I_1} * 100\% \quad (15)$$

gdzie: I_1 , I_2 , I_0 - składowe symetryczne prądu kolejności zgodnej, przeciwnej i zerowej, α_{i2} , α_{i0} , α_i - kolejno współczynniki asymetrii przeciwnej, zerowej i całkowitej prądów fazowych [4].

Tak więc na podstawie powyższych zależności można dokonać opisu asymetrii napięć i prądów dla badanej sieci. Dla pełnego opisu analitycznego rozważanych w artykule pomiarów należy również omówienie opis analityczny współczynnika THD dla napięć i prądów.

Współczynnik ten dla przebiegu sinusoidalnego można opisać za pomocą zależności:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} * 100\% \quad (16)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} * 100\% \quad (17)$$

gdzie: U_1, I_1 - kolejno skuteczna wartość napięcia i prądu składowej podstawowej, U_n, I_n - kolejno skuteczna wartość napięcia i prądu n-tej harmonicznej.

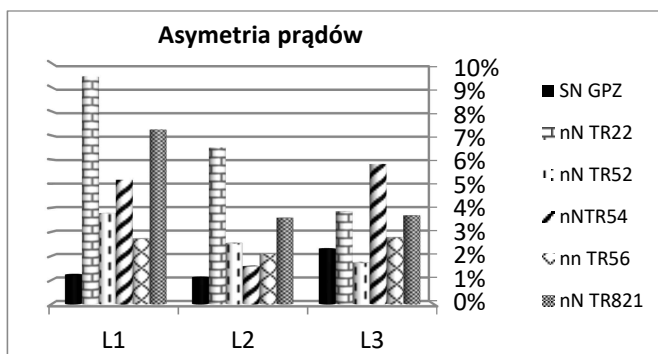
Dla przebiegów zawierających również interharmoniczne współczynnik THD można opisać za pomocą zależności:

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_{RMS}^2 - U_1^2}}{U_1} * 100\% \quad (18)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_{RMS}^2 - I_1^2}}{I_1} * 100\% \quad (19)$$

gdzie: U_1, I_1 - kolejno skuteczna wartość napięcia i prądu składowej podstawowej, U_{RMS}, I_{RMS} - kolejno skuteczna wartość napięcia i prądu wyższych harmonicznych i interharmonicznych [5].

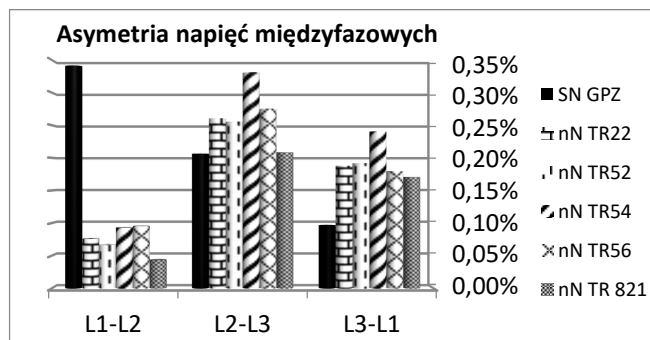
Powyższe zależności w sposób pośredni (przy wykorzystaniu analizatorów sieci) prowadzą do opracowania wyników analiz pomiarów sieci wewnątrzzakładowej przedstawionej w artykule. Wyniki tych opracowań zostały umieszczone na poniższych rysunkach.



Rys. 3. Wykres słupkowy wartości współczynników asymetrii prądów w badanym układzie zasilania

Przechodząc do analizy rysunku 3 na którym przedstawiono wyznaczone wartości współczynników asymetrii prądów w poszczególnych punktach systemu można stwierdzić, że najmniejsza asymetria występuje w GPZ natomiast największa na obiekcie 20 (TR22) oraz 82 (TR821). Wynika to z faktu, że po stronie SN obciążenia poszczególnych faz są bliskie symetrycznym ze względu na charakter obciążenia jakim są transformatory 15/0,4 kV. Asymetria prądów po stronie nN jest natomiast

spowodowana nierównomiernym obciążeniem faz powodowanym głównie przez odbiorniki jednofazowe.



Rys. 4 Wykres słupkowy wartości współczynników asymetrii napięć międzyfazowych w badanym układzie zasilania

Na rysunku 4 przedstawiono natomiast asymetrię napięć międzyfazowych. Z rysunku można zaobserwować, że największa asymetria napięcia występuje po stronie SN pomiędzy fazą L1 a fazą L2 co potwierdzają również dane z rysunku 5.



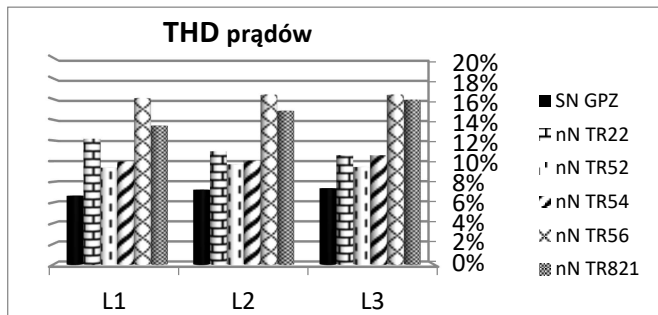
Rys. 5 Mierzone wartości parametrów sieci zasilającej w polu zasilającym GPZ

Wartość mierzonego napięcia pomiędzy fazą L1 a fazą L2 jest wyższa o około 80 V od pozostałych wartości. Asymetria ta może być spowodowana różną impedancją własną i wzajemną poszczególnych faz linii przesyłowej 110 kV co jest wynikiem rozłożenia przewodów fazowych (torów prądowych) na słupie wsporczym OS24 linii przesyłowej zasilającej stację redukcyjną 110/15 kV, która obsługuje strefę ekonomiczną [4]. Istnieją układy rozłożenia torów prądowych w napowietrznych liniach elektroenergetycznych, dla których można przyjąć, iż linia jest symetryczna (bez wykonywania przeplotów). W przypadku linii jednotorowych jest to układ, gdzie przewody są rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego, natomiast dla linii dwutorowych przy rozmieszczeniu w wierzchołkach sześcioboku foremnego przy zachowaniu odpowiedniej kolejności faz [6]. Należy jednak pamiętać, że asymetria nigdy nie zostanie całkowicie wyeliminowana nawet przy zastosowaniu wspomnianych układów. Wynika to z faktu, że rozłożenie przewodów względem ziemi i konstrukcji słupa nie jest identyczne dla każdego przewodu skutkiem czego jest pojawienie się asymetrii związanej z przepływem składowej kolejności zerowej prądu.

Z rysunku 4 można wnioskować, że asymetria napięć zasilających badany zakład jest na niskim poziomie. Dla napięć zasilających zakład BorgWarner należący do

trzeciej grupy przyłączeniowej zgodnie z Dz. U. z dnia 29 maja 2007 r. oraz normą PN-EN 50160:2010, w ciągu każdego tygodnia ze zbioru 95% 10-minutowych średnich wartości skutecznych składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0% do 2% wartości składowej kolejności zgodnej [7].

Kolejno wykres 6 przedstawia wartości THD dla przebiegów prądowych w poszczególnych punktach pomiarowych.

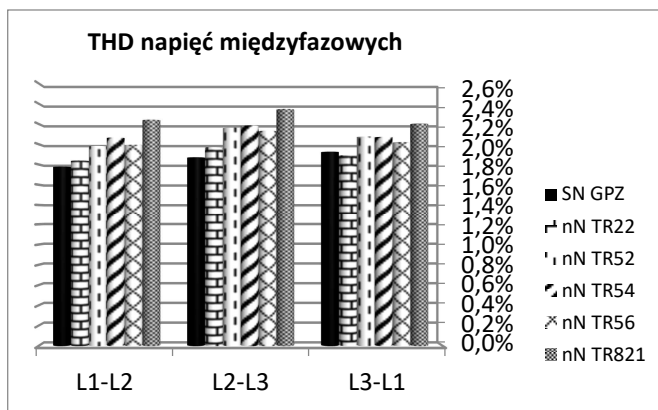


Rys. 6 Wykres słupkowy zawartości wyższych harmonicznych w przebiegach prądów w badanym układzie zasilania

Z wykresu wynika, że najniższa wartość wyższych harmonicznych w przebiegach prądów występuje w GPZ.

Najwyższa natomiast na zasilaniu rozdzielni RG56. Rozdzielnia ta zasilą obszar produkcyjny, w którym znajduje się linia heat treatment (obróbki cieplnej), która zawiera trzy piece indukcyjne, które połączone są z siecią zasilającą poprzez dedykowany układ przekształtnikowy, którego moc przyłączeniowa wynosi 446 kVA. Mimo dedykowanego układu zasilania pieców indukcyjnych wartości współczynników THD dla przebiegów prądowych w tym układzie zasilania wahają się od 30% do 50% w zależności od etapu wygrzewania pieców, co przekłada się na najwyższą wartość średnią przedstawioną na rysunku 6. W celu ograniczenia wartości THD w przebiegach prądów można zastosować filtr pasywny lub aktywny wyższych harmonicznych.

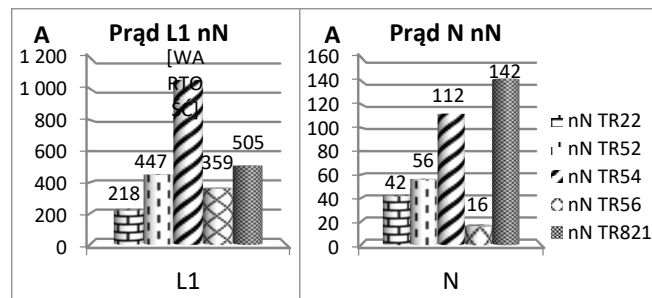
Filtr aktywny generuje przebiegi prądów w przeciwfazie do przebiegów prądów pobieranych przez nieliniowy odbiornik, przez co następuje ograniczenie wartości współczynników THD dla przebiegów prądów w pozostałej części instalacji [8]. Kolejno dokonano analizy współczynników THD dla przebiegów napięciowych w ww. punktach pomiarowych.



Rys. 7 Wykres słupkowy zawartości wyższych harmonicznych dla przebiegów napięć międzyfazowych w badanym układzie zasilania

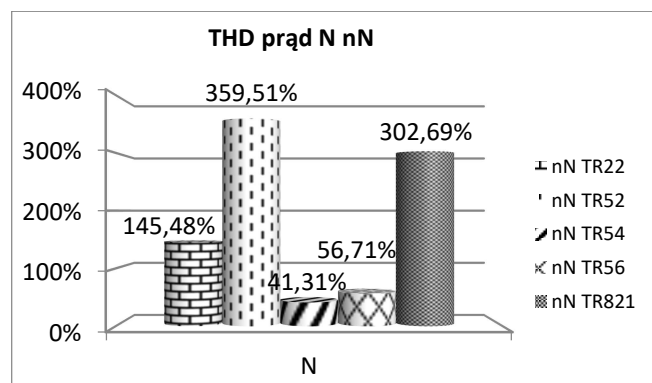
Wyniki analizy przedstawia wykres 7, z którego wynika, że po stronie nN występują wyższe zawartości wyższych harmonicznych dla przebiegów napięć niż po stronie SN. Efekt ten jest bezpośrednio związany z wyższą zawartością wyższych harmonicznych w przebiegach prądów po stronie nN w odniesieniu do SN. Potwierdza to tezę, że odkształcone przebiegi prądów powodują odkształcanie przebiegów napięć.

W kolejnym kroku dokonano analizy średniego prądu fazowego oraz średniego prądu płynącego przez przewód neutralny dla wybranych transformatorów po stronie nN. Analizę tę przedstawia rysunek 8.



Rys. 8 Wykresy słupkowe wartości średnich prądów w fazie L1 oraz prądu płynącego przez przewód neutralny w badanym układzie zasilania

Porównując udział procentowy średniego prądu płynącego przez przewód neutralny do średniego prądu fazowego wynosi on odpowiednio 19,06%, 12,47%, 10,59%, 4,3% oraz 28,06% dla danych punktów pomiarowych. Wynika z tego, że największy stosunek tych wartości występuje dla transformatorów TR821 oraz TR22. Jest to bezpośrednio związane ze znaczącą ilością odbiorników jednofazowych występujących na tych obiektach, które powodują przepływ prądu przez przewód neutralny. Na koniec dokonano analizy zawartości wyższych harmonicznych w przewodzie neutralnym dla poszczególnych transformatorów po stronie nN, co przedstawia wykres 9.



Rys. 9 Wykres słupkowy zawartości wyższych harmonicznych w przebiegach prądów przewodu neutralnego w badanym układzie zasilania

Wynika z niego, że dla transformatora TR52 oraz TR821 zawartości wyższych harmonicznych w przebiegach prądu przewodu neutralnego przekracza 300% w odniesieniu do podstawowej harmonicznej. Wartość ta powoduje całkowite zniekształcenie przebiegu prądu w przewodzie neutralnym. Oprócz tego niesie za sobą szereg negatywnych skutków takich jak zwiększone straty mocy w przewodzie neutralnym. Prąd, płynący w przewodzie neutralnym, powoduje stratę mocy proporcjonalną do kwadratu jego wartości skutecznej, zwiększając tym samym ogólną stratę mocy w linii zasilającej. Tak więc nawet stosunkowo

niewielki przyrost wartości prądu może pociągnąć za sobą znaczne zwiększenie strat mocy. W przypadku prądu odkształconego dodatkowym czynnikiem zwiększającym stratę mocy jest przyrost rezystancji przewodów wraz z rzędem harmonicznej powodowanej występowaniem zjawiska naskórkowości [9], [5].

Przyczyną tak znaczących zawartości wyższych harmonicznych w przewodzie neutralnym są głównie nieliniowe odbiorniki jednofazowe, które powodują odkształcanie przebiegów prądów. Oprócz tego wpływ na zawartość THD w przewodzie neutralnym ma również asymetria obciążeń poszczególnych faz. W przypadku bowiem idealnej symetrii obciążeń w przewodzie neutralnym występują jedynie harmoniczne kolejności zerowej, to znaczy rzędu $3n$ (3, 6, 9, ...). Jednak ze względu na występowanie niesymetrii obciążeń w przewodzie tym będą występowały harmoniczne wszystkich rzędów (zarówno rzędu $3n$ jak i pozostałe) osiągając w niektórych przypadkach znaczne wartości.

4. PODSUMOWANIE

Analizując możliwości pomiarowe systemów takich jak BMS czy PME można stwierdzić, że stanowią one idealne narzędzie do tego typu pomiarów.

Dzięki systemowi BMS zainstalowanemu w zakładzie przemysłowym możliwe było jednoczesne zbieranie znaczącej ilości zsynchronizowanych czasowo danych. Dane te stały się podstawą analizy parametrów zasilania dla średniego oraz niskiego napięcia. Analiza ta dała informacje na temat występujących poziomów zakłóceń oraz punktów, które wymagają głębszej analizy. Dodatkowo dzięki stworzonym analizom przy wykorzystaniu systemu BMS można dokonywać w czasie rzeczywistym porównania parametrów sieci, co poprawia bezpieczeństwo energetyczne obiektu. Analizy tego typu są również często stosowane w celu wykrywania anomalii systemu energetycznego, czy uszkodzeń zainstalowanych w nim urządzeń. Patrząc z perspektywy dalszych badań kolejnym krokiem w tym kierunku może być dogłębna analiza parametrów jakości energii elektrycznej bezpośrednio związanej z urządzeniami znajdującymi się na wybranych obiektach. Celem badania może być określenie ich udziału w całkowitych wartościach parametrów przedstawionych w powyższym artykule. Badania te mogą pozwolić na

opracowanie nowych koncepcji ograniczenia np. wartości wyższych harmonicznych przebiegów prądowych dla danych urządzeń (lub grupy urządzeń) np. poprzez zastosowanie filtracji pasywnej czy aktywnej.

Dodatkowo patrząc od strony badań rozwojowych nad tymi systemami można podjąć działania dążące do ich połączenia z innymi systemami automatyki i zarządzania w obszarach Internetu rzeczy czy danych. Tego typu powiązania stają się coraz częściej stosowane w ramach koncepcji takich jak Industry 4.0.

Podsumowując przytoczone w artykule badania można stwierdzić, iż jakość pobieranej energii elektrycznej dla zakładów przemysłowych jest istotnym zagadnieniem. Na tej podstawie można wnioskować, że w najbliższych latach nadal będą prowadzone prace rozwojowe nad systemami typu BMS czy PME.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Nota katalogowa PowerLogic Miernik Parametrów Elektrycznych serii 800, 63230-500-225A1, Schneider Electric, 2007 r.
2. Kowalski Z.: Jakość energii elektrycznej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2007 r.
3. Bolkowski S.: Teoria Obwodów Elektrycznych, Wydanie IV, WNT, Warszawa, 1995 r.
4. Robak S., Pawlicki A., Pawlicki B.: Asymetria napięć i prądów w elektroenergetycznych układach przesyłowych, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, 2014 r.
5. Hanzelka Z.: Jakość energii elektrycznej, część 4 – Wyższe harmoniczne napięć i prądów, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2001 r.
6. Wiśniewski Z.: Sieci elektroenergetyczne część I, Wydanie II, PWN, Warszawa 1967 r.
7. Dz. U. Nr 93, poz. 623, Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.
8. Kołodziej K.: Analiza ograniczania wyższych harmonicznych nieliniowych odbiorników przy wykorzystaniu filtru aktywnego, RUTJEE, z.37 (1/2018), Rzeszów 2018 r.
9. Arrillaga J., Smith B. C., Watson N. R., Wood A. R.: Power system harmonic analysis. Christchurch 1997 r.

ANALYSIS OF INTERNAL ENERGY NETWORK PARAMETERS USING BMS AND PME SYSTEMS

The article presents the results of measurements related to the analysis of the parameters of the medium and low voltage in-house energy networks using modern building automation systems. At the beginning the article discusses issues related to the structure of BMS and PME systems. This section presents the structure of these systems. They were compared and the analysis possibilities were presented using network parameter analyzers. Next the diagram of the supply system of the industrial plant in which the tests were carried out is presented and discussed. On this occasion, selected parameters related to the quality of electricity were discussed. For reference purposes, a symmetrical system of voltages and currents has been quoted as a theoretical model. The voltage and current asymmetry coefficients as well as THD coefficients for these waveforms have been defined. Next, the article presents and discusses the direction of the measurement process, the result of which are collected measurement values used to determine the selected parameters. These values in the further part of the article contribute to the statistical determination of the levels of selected parameters. On their basis, the asymmetry of voltages and currents as well as the THD content for particular objects is determined. Thanks to the obtained measurement results, it was possible to statistically estimate the power quality and the character of the load for individual transformers. In addition, these research allow to determine which objects should be subjected to in-depth analysis to identify the receivers that contribute the most to the deterioration of the parameters of the in-house network. The article ends with the collection of conclusions from the analysis and summary.

Keywords: higher harmonic, the quality of electricity, BMS, PME.