



QUALITY OF SUPPLY GUARANTEED IN SYSTEMS OF SHORE SUPPLY CONNECTION OF SHIPS MOORING IN A PORT

Dariusz TARNAPOWICZ
Maritime University of Szczecin

Abstract:

Increased sea transport with a constantly growing demand by ships for electric power means higher emission of pollutions generated by ships to the atmosphere. To turn off automatic generator sets which are the main source of air pollution emissions by ships mooring in the port a ship has to be connected to the power land network. Quality of electric power supplied from the land is of a great importance connected with security of the work of naval systems and economical ship functioning. Complicated computer steering systems more and more frequently used on ships are very sensitive to disturbances and require energy supply of a very high quality. In this article basic information about quality of electric power supplied to the ship from the land network and chosen ways of its improvement are presented.

Key words: "shore to ship" system, electrical power quality, Total Harmonic Distortion, conversion of electrical energy

INTRODUCTION

All over the world the interest in ways of reducing a negative influence of ships mooring in ports on a natural habitat is increasing. It is necessary to find solutions to this problem.

The main source of air pollution emissions by ships mooring in ports are naval generator sets called Diesel – Generator.

In most cases electric power is supplied from automatic generator sets (AE) which consist of a piston internal combustion engine and a synchronous generator. Tests of exhaust emissions carried out in ports and their surroundings

lead to the conclusion that sea vessels are the main source of exhaust emissions such as: nitric oxide (NO_x), sulfur dioxide (SO₂) and particulates (PM) [1]. Exhaust emission from land sources (industrial plants, cars, trains) was drastically reduced within the last two decades by implementing rigorous norms of exhaust emissions, using clear fuels and installing devices which limit pollution emission. Pollution generated by ships mooring in the ports is unacceptable. Making use of electric power from land network by ships mooring in the ports allows turning off automatic generator sets while considerably limiting air pollution emission.

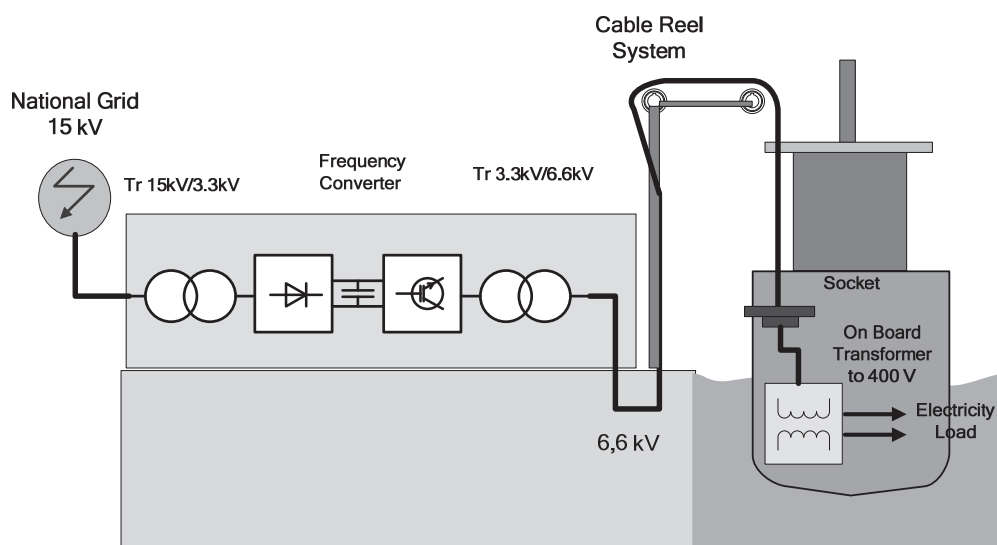


Fig. 1 The scheme of vessel electric supply system configuration (STS) based on IEC

The technical problem of such a solution is connected with using electric networks with different nominal parameters on the ships as well as the lack of standardization of parameters of power land networks in the world [2]. Matching voltage levels of the land network to the power ship network is made by network transformers. The main problem is matching the frequency of 60 Hz (around 65% of ships) and 50 Hz (around 35% of ships). The frequency of land networks depends on world regions and equals mostly 50 Hz in Europe, Africa and a large part of Asia and 60 Hz on the American continent. Frequency converters are used to match frequencies of ship and land networks.

It has been a priority to guarantee a full compatibility between electric ship and land network. The international system standardization allows universality of using the system, that is, it allows building a system which makes it possible to use shore connection for most types of ships. In July 2012 IEC/ISO/IEEE 80005-1 document titled INTERNATIONAL STANDARD Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements [3] was published. It describes HVSC systems on the ship deck and on the land so that it was possible to supply electric power to the ship from the land. Figure 1 presents the configuration of the Shore to Ship (STS) system – power shore connection to the ship based on assumptions developed by IEC¹.

Electric power quality supplied from the land to the ship has a great significance connected with security of ship system work and economical ship functioning.

ELECTRIC POWER QUALITY IN STS SYSTEMS

Electric power quality can be defined as a set of parameters which describes the properties of the process of supplying electric power determining uninterrupted of power supply and characterizing voltage [4, 5]. To describe electric power quality, quality parameters are used which can be divided into two groups: parameters connected with supply continuity and with voltage distortion against the basic harmonic. The basic quality parameters are:

- Voltage fluctuations
- Voltage distortions
- Voltage asymmetry
- Long-term and short-term voltage decreases and increases
- Voltage dip
- Long-term and short term blackout
- Overvoltages

Temporary deterioration of energy power quality has a special importance for security of technical ship system work, while long-term deterioration is mostly connected with economic costs [6].

Electric power receivers on the ship are very sensitive to supply voltage changes – its deviations from rated values.

Voltage distortion has an influence on:

- electric engine work (electromagnetic parasitic torques, overheating and permanent damage of bearings)
- electric wires (active power losses, voltage drops),
- control and measurement instruments (“false” alarms, uncontrolled shutdowns).

Voltage fluctuations have an influence on:

- electric engine work (change of the electromagnetic moment, wear of engine parts and a powered device),
- luminous receivers (change of luminous efficiency),
- power-supply devices (damage of valves),
- contactors and relays (contact sparks, uncontrolled shutdowns).

Voltage deviations have an influence on:

- electric engine work (overcurrent, temperature rise, difficulties in moving),
- luminous receivers (decrease in durability of discharge lamps)
- heaters (efficiency decrease, faster wear).

Deterioration of parameters of electric power quality in STS systems is connected both with the supply network (most of all non-linear current and temporary characteristics of semiconductor elements of a frequency converter) like with non-linear receptions of energy which supplies ship devices. The chosen ways of its improvements are presented in the article.

VOLTAGE DISTORTION

Voltage distortion for power networks is defined by THD – total harmonic distortion – indicator of harmonic contents. The voltage indicator of harmonic contents presents the following dependencies (1) [6]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{30} U_h^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

were:

U_1 - RMS value of the fundamental voltage,

U_h - RMS value of voltage harmonic h .

In connection with high saturation of ship systems with complicated and sensitive to voltage disturbances automation there is a tendency to limit THD_U to 5% (e.g. Lloyd's Register of Shipping < 5%).

In the STS system the main source of high supply voltage harmonic in process is the inverter in the frequency converter configuration. To limit the higher harmonic the following are commonly used:

- Passive filters – parallel LC circuits matched to the chosen harmonic
- Active filters – serial inverter systems (voltage filtration) or parallel inverter systems (current filtration)
- Hybrid filters – installation of passive and active filters simultaneously.

In the article the other way of limiting the higher harmonic was proposed – a multilevel inverter. Power of classical two-level transistor converters built on the basis of IBT transistors is limited by technological aspects. IGBT transistors preserve current commutation up to 1.8 kA and are built for maximum voltage up to 4.5 kV. Using multilevel transistor systems allows reducing requirements on a voltage class of connectors. Currently, in multilevel inverter systems the most popular one is the NPC (neutral-point clamped) inverter. The topology of NPC inverter is based on a division of voltage of the link circuit into three or more degrees with the use of a capacitive divider. A zero pole of “N” supply voltage is a reference point of output phase voltages. Figure 2 presents a topology of two-level inverter (Fig. 2a) and five-level NPC (Fig. 2b).

¹International Electrotechnical Commission

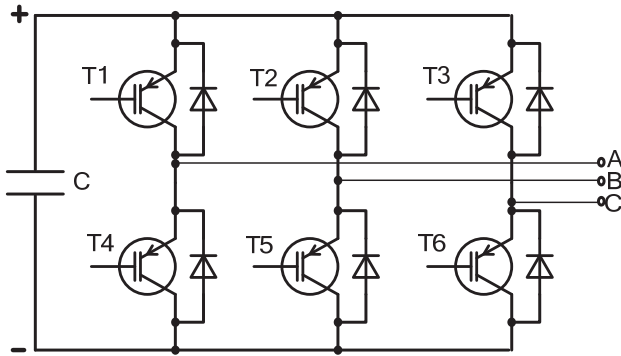


Fig. 2a The topology of three-phase two level inverter NPC

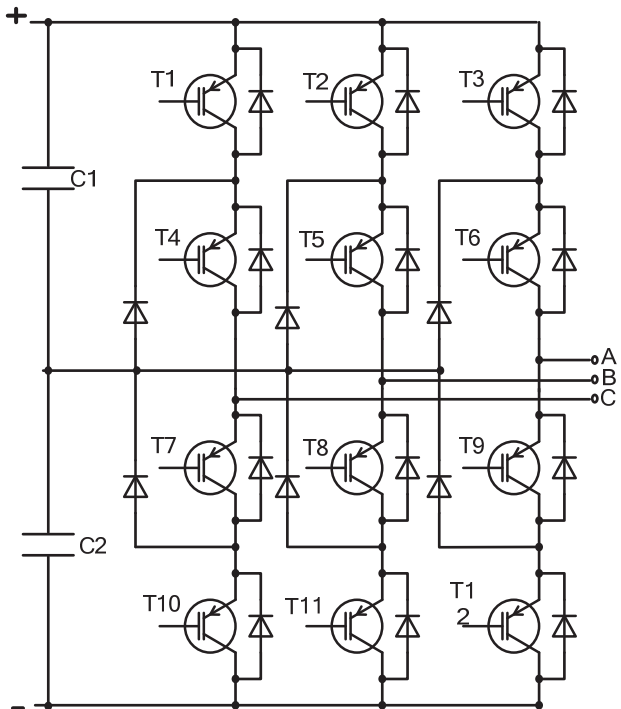


Fig. 2b The topology of three-phase five-level inverter NPC

Figure 3a and 3b show the processes in the classical (two-level) five-level inverter system and obtained in simulation tests with the use of the MATLAB program. Tests were carried out for the same inverter parameters (link voltage, sampling frequency, inverter output inductance). Processes presented are for one voltage phase.

Test results show the improvement of supply voltage quality with the increase of inverter levels (for 2-level THD = 3.36%, and for 5-level THD = 1.84%).

VOLTAGE ASYMMETRY

The main reason of asymmetry of three-phase voltages is asymmetric load in individual phases. Receivers in ship networks are treated as symmetric ones which is not quite true. Asymmetric receivers of high power are installed on ships. The important group are tank and system heaters which often work like two-phase ones. Load asymmetry can be considerable and changeable in time. The lack of supply voltage symmetry mostly causes additional energy losses in asynchronous cage motors which can cause the increase in temperature and overheating.

In STS systems voltage asymmetry signifies especially when one frequency converter supplies few ships in the port. In the article the way of asymmetry improvement with the using shunt active filter (SAF) was presented.

Total apparent power (S) is a geometric sum of active power P, reactive power Q and asymmetrical power D [7]:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (2)$$

The task of SAF active filter is to generate reactive components of currents to the electric network. Thanks to the suitable transform of three-phase coordinates one can set components of load active currents, and as a result, compensation of reactive components of current. In inverter steering systems conversion of size of instantaneous three-phase a, b, c (voltage or currents) to equivalent rotating Cartesian two-phase system d, q, 0 is commonly used [8, 9]. Using the Park transform leads to the error of setting an active component of current in the case of current asymmetry. The error can be eliminated by the rotating system of three p, q, r coordinates [10]. Transformation of d, q, 0 coordinates system and p, q, r coordinate system is according to the equation (1):

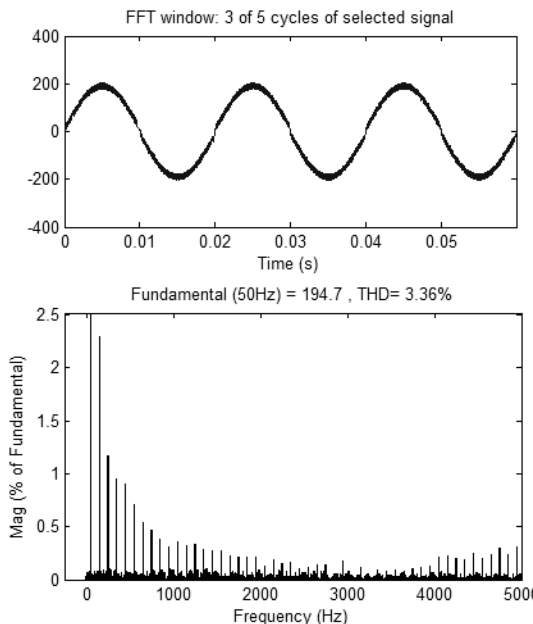


Fig. 3a The course of voltage single-phase two level inverter and harmonic

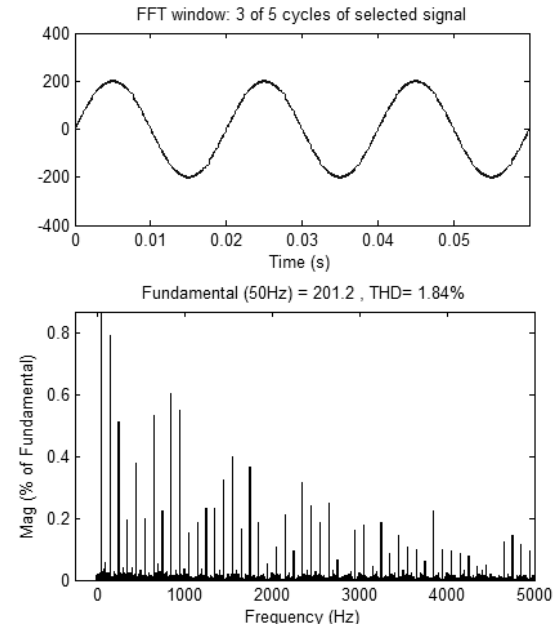


Fig. 3b The course of voltage single-phase five level inverter and harmonic

D. TARNAPOWICZ - Quality of supply guaranteed in systems of shore supply connection of ships mooring in a port

$$\begin{bmatrix} u_p \\ u_q \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_d}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_0}{u_{d0}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{u_0}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_d}{u_{d0}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

where:

$$u_{d0} = \sqrt{u_d^2 + u_0^2}$$

A schematic diagram of the STS system with the SAF filter which eliminates load current asymmetry is presented in picture (Fig. 4).

The system presented on picture (Fig. 4), was implemented in the MATLAB-SIMULINK simulation program. Picture (Fig. 5, 6), shows the results.

CONCLUSIONS

The quality of electricity supplied to ships in the STS system is primarily related to safety marine systems. Most at risk for poor quality of electricity are commonly used control devices and control. Proposed in the article selection methods to improve the power quality allow you to improve the safety and economics.

The use of multilevel inverters in the system STS significantly improves THD voltages, increasing class contrived voltage frequency converters.

The use of STS systems filter SAF allows disabling of output current the converter asymmetry, and hence improve the power quality parameter which is the voltage asymmetry.

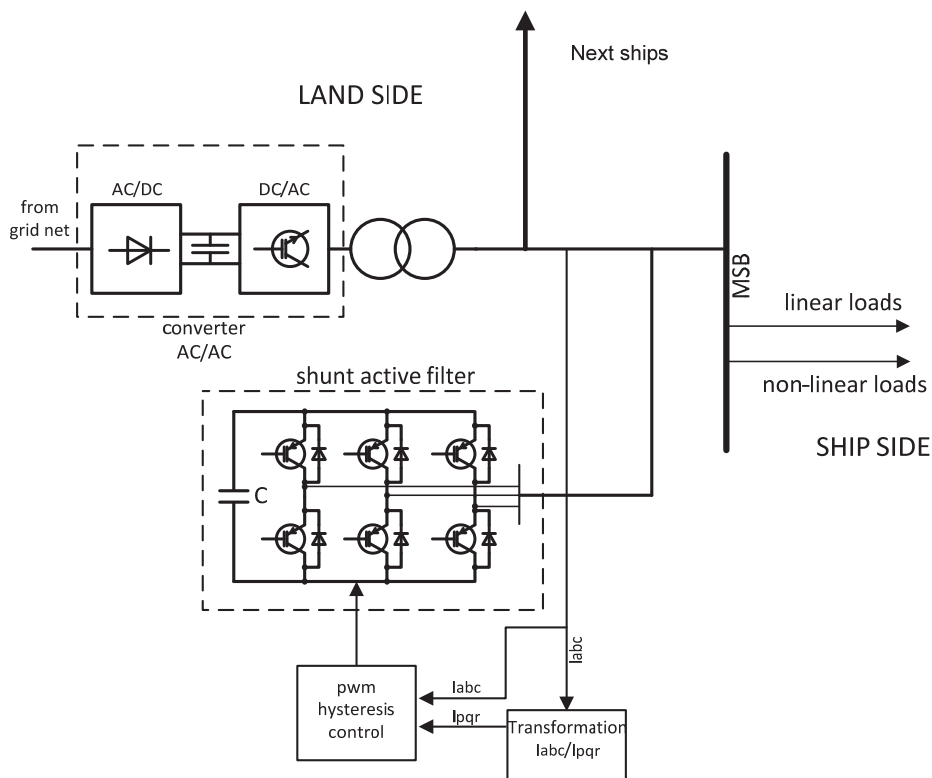


Fig. 4 The scheme of STS system with the SAF

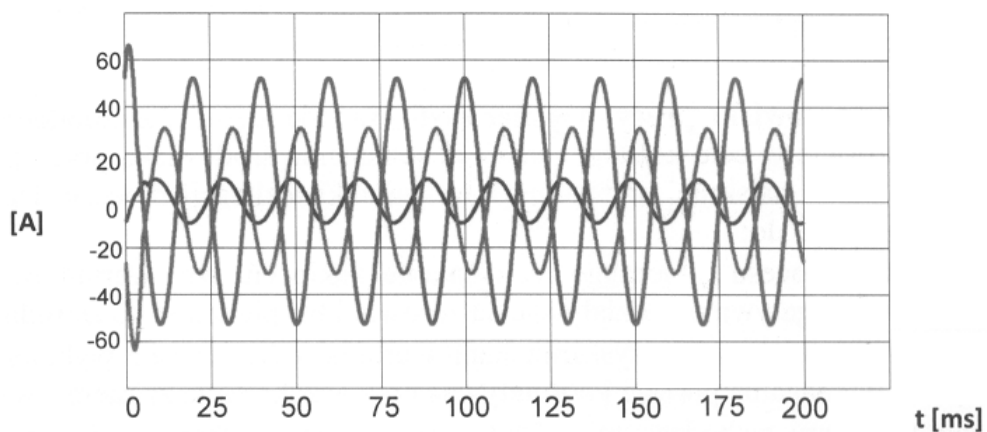


Fig. 5 The current in the STS network at the maximum asymmetry in the load

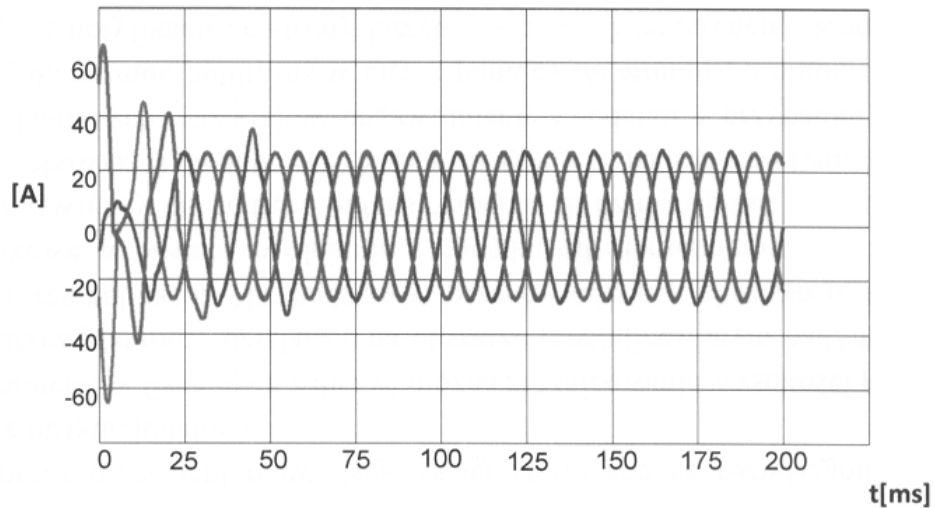


Fig. 6 The current in the STS network with SAF

REFERENCES:

- [1] D. Tarnapowicz, T. Borkowski, G. Nicewicz. "Ships moored in the port with threat to the natural environment." *Management Systems in Production Engineering*, no. 2, 2012.
- [2] D. Tarnapowicz. "An alternative power supply: the use of ships in port as an environmentally friendly solution." *Management Systems in Production Engineering*, no. 3, 2011.
- [3] International Electrotechnical Commission, IEC/ISO/IEEE 80005-1 pt.: INTERNATIONAL STANDARD Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements Edition 1.0 2012-07.
- [4] Z. Hanzelka. „Jakość Energii Elektrycznej.” *Elektroinstalator*, no. 9, 2001.
- [5] European Commission: Amended proposal for a European Parliament and Council Directive concerning common rules for the internal market in electricity. Official Journal of European Communities, no. C 123, 4.5.94.
- [6] J. Mindykowski, T. Tarasiuk. „Jakość energii elektrycznej a ekonomiczna eksploatacja okrętowych systemów technicznych.” *Jakość energii elektrycznej*, Tom IV, Zeszyt 2, 1998.
- [7] L. S. Czarnecki "Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 1, Jan. 2006, pp. 362-367.
- [8] H. Akagi. et al.: Generalized theory of instantaneous reactive power in three-phase circuits. Conf. Rec. IP-EC'83, Tokyo, 1993, pp.1375-1386.
- [9] R. Park. "Two reaction theory of synchronous machines, AIEE Transactions", vol. 48, pp. 716-730, 1929.
- [10] H. Kim, F. Blaabjerg, B. Back-Jensen "Instantaneous power compensation in three – phase systems using p -q-r theory." *Power Electronics*, vol. 17, no 5, 2002.

dr inż. Dariusz Tarnapowicz
 Maritime University of Szczecin
 Faculty of Mechanical Engineering
 Department of Marine Electrical Engineering and Electronics
 ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, POLAND
 e-mail: d.tarnapowicz@am.szczecin.pl

JAKOŚĆ ZASILANIA GWARANTOWANEGO W SYSTEMACH PODŁĄCZENIA ZASILANIA STATKÓW Z LĄDU CUMUJĄCYCH W PORCIE

QUALITY OF SUPPLY GUARANTEED IN SYSTEMS OF SHORE SUPPLY CONNECTION OF SHIPS MOORING IN A PORT

Dariusz TARNAPOWICZ
Akademia Morska w Szczecinie

Streszczenie: Zwiększony transport morski, przy ciągle rosnącym zapotrzebowaniu przez statki na energię elektryczną oznacza większą emisję zanieczyszczeń generowanych przez statki do atmosfery. W celu wyłączenia autonomicznych zespołów prądowców, które są głównym źródłem emisji zanieczyszczeń powietrza przez statki cumujące w porcie jest podłączenie statku do elektroenergetycznej sieci lądowej. Jakość energii elektrycznej dostarczanej z lądu ma ogromne znaczenie związane z bezpieczeństwem pracy systemów okrętowych i ekonomicznym funkcjonowaniem statku. Stosowane coraz powszechniej na statkach skomplikowane komputerowe systemy sterowania są bardzo wrażliwe na zaburzenia i wymagają zasilania o bardzo wysokiej jakości. W niniejszym artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące jakości energii elektrycznej dostarczanej na statek z sieci lądowej oraz wybrane sposoby jej poprawy.

Słowa kluczowe: system „shore to ship”, jakość energii elektrycznej, współczynnik zawartości harmonicznych, przekształcanie energii elektrycznej

1. WSTĘP

Na całym świecie zwiększa się zainteresowanie sposobami ograniczenia negatywnego wpływu statków cumujących w portach na środowisko naturalne. Konieczne staje się poszukiwanie rozwiązań tego problemu.

Głównym źródłem emisji zanieczyszczeń powietrza przez statki cumujące w porcie są okrętowe zespoły prądowców Diesel-Generator.

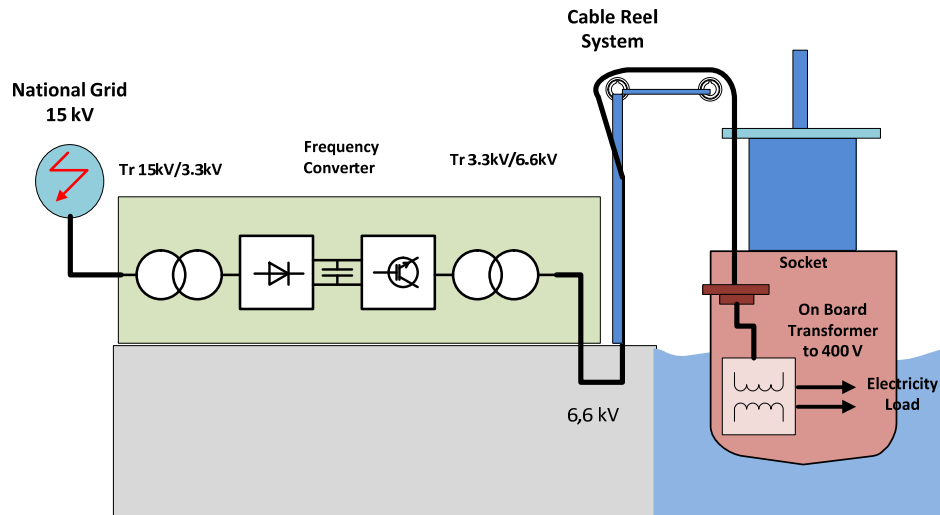
Energia elektryczna w większości przypadków jest dostarczana z autonomicznych zespołów prądowców (AE) składających się z tłokowego silnika spalinowego i generatora synchronicznego. Badania emisji spalin przeprowadzone w portach oraz ich otoczeniu prowadzą do wniosku, że statki morskie są głównym źródłem emisji spalin takich jak; tlenku azotu (NO_x), dwutlenku siarki (SO₂) i cząstki stałe (PM) [1]. Emisja zanieczyszczeń z źródeł lądowych (zakłady przemysłowe, samochody, pociągi), została drastycznie zmniejszona w ciągu ostatnich dwóch dekadach poprzez wdrażanie rygorystycznych norm emisji spalin, stosowanie czystych paliw i instalacji urządzeń ograniczających emisję zanieczyszczeń. Zanieczyszczenie generowane przez statki cumujące w portach jest nie do zaakceptowania. Wykorzystanie przez statki cumujące w portach energii elektrycznej z sieci lądowej pozwala na wyłączenie autonomicznych zespołów prądowców ograniczając przez to w znacznym stopniu emisję zanieczyszczeń powietrza.

Problem techniczny tego rozwiązania jest związany ze stosowaniem na statkach sieci elektrycznych o różnych parametrach znamionowych, jak również brakiem normalizacji parametrów elektroenergetycznych sieci lądowych na świecie [2]. Dopasowanie poziomów napięć sieci lądowej z elektroenergetyczną siecią okrętową jest realizowane za pomocą transformatorów sieciowych. Główny problem stanowi dopasowanie częstotliwości. W okrętowych sieciach elektroenergetycznych występują napięcia o częstotliwości 60 Hz (ok 65% statków) i 50 Hz (ok 35% statków). Częstotliwość sieci lądowych jest zależna od rejonów świata i wynosi przeważnie 50 Hz w Europie, Afryce, znacznej części Azji oraz na

kontynencie amerykańskim 60 Hz. W celu dopasowania częstotliwości sieci okrętowych i lądowych stosowane są przemienniki częstotliwości.

Zapewnienie pełnej zgodności pomiędzy elektryczną siecią okrętową, a lądową stało się priorytetem. Międzynarodowa standaryzacja systemu pozwala na uniwersalność stosowania systemu, czyli umożliwia budowę systemu pozwalającego na korzystanie z podłączenia z lądem dla większości typów statków. W lipcu 2012 opublikowano dokument IEC/ISO/IEEE 80005-1 [3]. Dokument ten opisuje systemy HVSC, na pokładzie statku i na lądzie, tak aby była możliwe dostarczenie na statek energii elektrycznej z lądu.

Na rysunku 1 przedstawiona jest konfiguracja systemu Shore To Ship (STS) – elektroenergetycznego podłączenia statku z lądem oparta na założeniach opracowanych przez IEC¹.



Rys. 1. Schemat zasilania energoelektrycznego statku (STS) w oparciu o IEC

Jakość energii elektrycznej dostarczanej z lądu na statek ma ogromne znaczenie związane z bezpieczeństwem pracy systemów okrętowych i ekonomicznym funkcjonowaniem statku.

2. JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SYSTEMACH STS

Jakość energii elektrycznej można zdefiniować jako zbiór parametrów opisujących właściwości procesu dostarczania energii elektrycznej, określających bezprzerwowość zasilania oraz charakteryzujących napięcie [4, 5]. Do opisu jakości energii elektrycznej służą parametry jakościowe, które można podzielić na dwie grupy: parametry związane z ciągłością zasilania i z odkształceniem napięcia względem podstawowej harmonicznej. Podstawowymi parametrami jakościowymi są:

- wahania napięcia
- odkształcenia napięcia
- asymetria napięć
- długotrwałe i krótkotrwałe obniżenia i wzrosty napięcia
- uskoki (zapady) napięcia
- długotrwałe i krótkotrwałe blackout
- przepięcia

Chwilowe pogorszenie się jakości energii elektrycznej ma szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa pracy okrętowych systemów technicznych, natomiast długotrwałe

¹ International Electrotechnical Commission

pogorszenie jakości wiąże się przede wszystkim z kosztami ekonomicznymi [6]. Odbiorniki energii elektrycznej na statku są bardzo czułe na zmiany napięcia zasilającego – jego odchylenia od wartości znamionowych.

Odkształcenie napięcia ma wpływ na:

- pracę silników elektrycznych (elektromagnetyczne momenty pasożytnicze, przegrzanie oraz trwałe uszkodzenia łożysk),
- odbiorników oświetleniowych (migotanie światła),
- przewody elektryczne (starty mocy czynnej, spadki napięcia),
- aparatura kontrolno-pomiarowa („fałszywe” alarmy, niekontrolowane wyłączenia)
- Wahania napięcia mają wpływ na:
 - pracę silników elektrycznych (zmiana momentu elektromagnetycznego, zużywanie się części silnika i urządzenia napędzanego),
 - odbiorników oświetleniowych (zmiana skuteczności świetlnej),
 - urządzenia energoelektroniczne (uszkodzenia zaworów),
 - styczniki i przekaźniki (iskwienie się styków, niekontrolowane wyłączanie się)
- Odchylenia napięcia mają wpływ na:
 - pracę silników elektrycznych (przetężenia, przyrost temperatury, trudności podczas rozruchu
 - odbiorników oświetleniowych (zmniejszenie trwałości lamp wyładowczych)
 - grzejniki (zmniejszenie wydajności, szybsze zużycie)

Pogorszenie się parametrów jakości energii elektrycznej w systemach STS jest związane zarówno z siecią zasilającą (przede wszystkim nieliniową charakterystykę prądowo-czasową elementów półprzewodnikowych przekształtnika częstotliwości) jak i z nieliniowymi odbiorami energii elektrycznej na statku. Niezbędne jest zastosowanie metod poprawy jakości energii elektrycznej zasilającej urządzenia okrętowe. W artykule przedstawione są wybrane sposoby jej poprawy.

3. ODKSZTAŁCENIE NAPIĘCIA

Zniekształcenia napięcia dla sieci elektroenergetycznych określa się za pomocą wskaźnika zawartości harmonicznych THD – total harmonic distortion. Napięciowy wskaźnik zawartości harmonicznych przedstawia następująca zależność (1) [6]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{30} U_h^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

U_1 – skuteczna wartość napięcia składowej podstawowej,

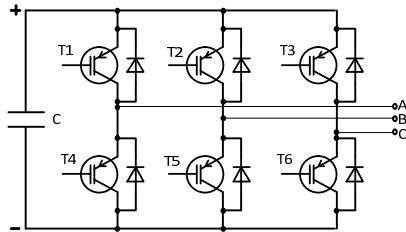
U_h – skuteczna wartość napięcia h-tej harmonicznej.

W związku z wysokim nasyceniem systemów okrętowych skomplikowaną i wrażliwą na zakłócenia napięcia automatyką występuje tendencja do ograniczania THD_U do 5% (np. Lloyd's Register of Shipping < 5%).

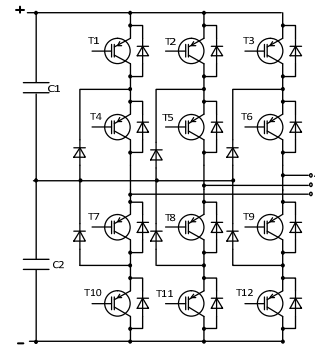
W układzie STS ważnym źródłem powstawania wyższych harmonicznych w przebiegach napięć zasilających jest falownik w układzie przekształtnika częstotliwości. Dla ograniczenia wyższych harmonicznych powszechnie stosowane są:

- filtry pasywne – obwody LC włączone równolegle dobrane na wybrane harmoniczne (wymagane jest często włączenie kilku filtrów)
- filtry aktywne – układy falownikowe włączone szeregowo (filtracja napięcia) lub równolegle (filtracja prądu)
- filtry hybrydowe – zainstalowanie jednocześnie filtra pasywnego i aktywnego.

W artykule zaproponowano inny sposób ograniczenia wyższych harmonicznych – falownik wielopoziomowy. Moc klasycznych przekształtników tranzystorowych dwupoziomowych zbudowanych w oparciu o tranzystory IGBT jest ograniczona względami technologicznymi.



Rys. 2a. Topologia falownika 3-fazowego dwupoziomowego



Rys. 2b. Topologia falownika 3-fazowego pięciopoziomowego

Tranzystory IGBT zabezpieczają komutację prądów do 1,8 kA i budowane są na maksymalne napięcia do 4,5 kV. Zastosowanie dla układów tranzystorowych wielopoziomowych pozwala obniżyć wymagania odnośnie klasy napięciowej łączników. Obecnie w układach falowników wielopoziomowych najbardziej popularnym jest falownik z punktem neutralnym zasilania NPC (neutral-point clamped inverter). Topologia falownika NPC oparta jest na podziale napięcia obwodu pośredniczącego na trzy lub więcej stopni z wykorzystaniem dzielnika pojemnościowego. Biegun zerowy napięcia zasilania „N” jest punktem odniesienia wyjściowych napięć fazowych. Na rysunku 2 przedstawiona jest topologia falownika dwupoziomowego (rys 2a) i pięciopoziomowego NPC (rys. 2b).

Na rysunku 3a i 3b przedstawione są przebiegi w układzie falownika klasycznego (dwupoziomowego) pięciopoziomowego i uzyskane w badaniach symulacyjnych z wykorzystaniem programu MATLAB. Badania zostały wykonane dla tych samych parametrów falownika (napięcie pośredniczące, częstotliwość próbkowania, indukcyjność wyjściowa falownika). Przebiegi przedstawione są dla jednej fazy napięcia.

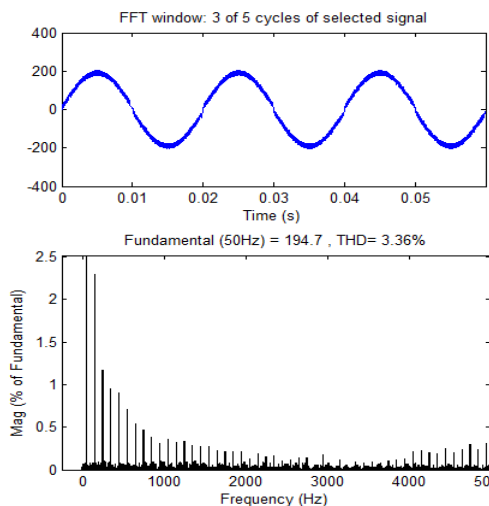


Fig. 3a. Przebieg czasowy napięcia oraz harmoniczne napięcia dla falownika dwupoziomowego

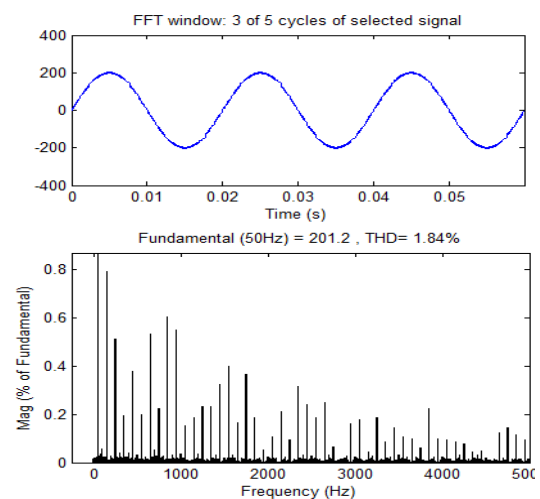


Fig. 3b. Przebieg czasowy napięcia oraz harmoniczne napięcia dla falownika pięciopoziomowego

Wyniki badań wykazują poprawę jakości napięć zasilających wraz ze wzrostem poziomów falownika (dla 2-poziomowego THD=3,36%, a dla 5-poziomowego THD=1,84%).

4. NIESYMETRIA NAPIĘĆ

Głównym powodem powstawania niesymetrii napięć trójfazowych jest asymetryczne obciążenie w poszczególnych fazach. Odbiorniki w sieciach okrętowych są traktowane jako symetryczne, co nie jest do końca prawdą. Na statkach są instalowane dużej mocy odbiorniki niesymetryczne. Ważną grupę stanowią tu grzejniki zbiorników i systemów, często pracujące jako dwufazowe. Niesymetria obciążenia może być znaczna oraz zmienna w czasie. Brak symetrii napięcia zasilającego powoduje przede wszystkim dodatkowe straty energii w silnikach asynchronicznych klatkowych co może powodować wzrost temperatury i przegrzanie.

W systemie STS asymetria napięć ma szczególne znaczenie wtedy, gdy jeden przekształtnik częstotliwości zasila kilka statków w porcie. W artykule przedstawiony został sposób poprawy niesymetrii z wykorzystaniem równoległego filtra aktywnego (SAF).

Całkowita moc pozorna (S) jest geometryczną sumą mocy czynnej P , mocy biernej Q i mocy niesymetrii D (2) [7]:

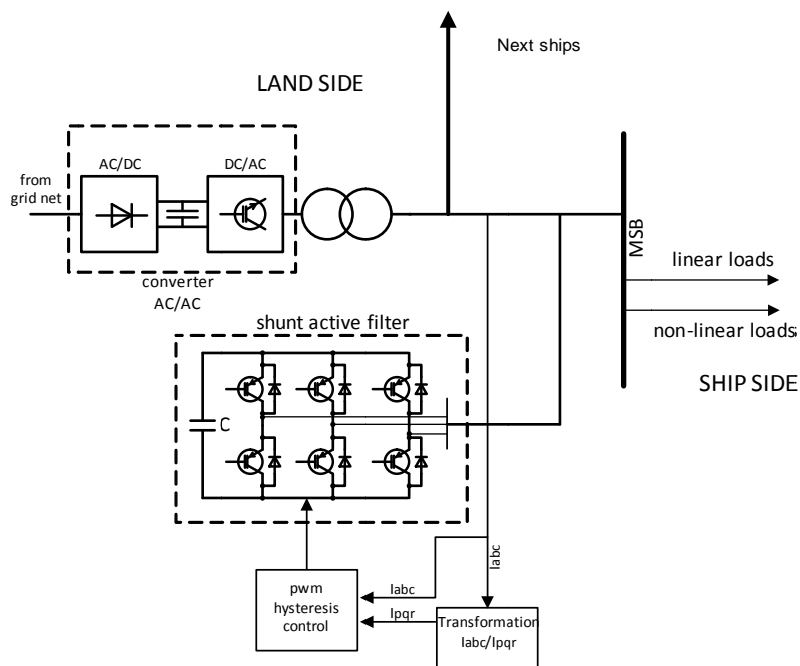
$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (2)$$

Zadaniem filtra aktywnego SAF jest generowanie nieaktywnych składników prądów do sieci elektrycznej. Dzięki odpowiedniej transformacji współrzędnych trójfazowych można wyznaczyć składniki aktywnych prądów obciążenia, a w rezultacie kompensacji nieaktywnych składników prądu. W układach sterowania falowników powszechnie stosowane jest przekształcenie wielkości chwilowych trójfazowych a, b, c (napięć lub prądów) do równoważnego wirującego układu kartezjańskiego dwufazowego $d, q, 0$ [8, 9]. Stosowanie transformaty Parka prowadzi do błędów wyznaczanie składowej czynnej prądu w przypadku asymetrii prądów. Błąd może być wyeliminowane przy pomocy obracającego się układu trzech współrzędnych p, q, r [10]. Transformacja układu współrzędnych $d, q, 0$ układu współrzędnych p, q, r odbywa się zgodnie z równaniem (3):

$$\begin{bmatrix} u_p \\ u_q \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_d}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_0}{u_{d0}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{u_0}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_d}{u_{d0}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

gdzie:

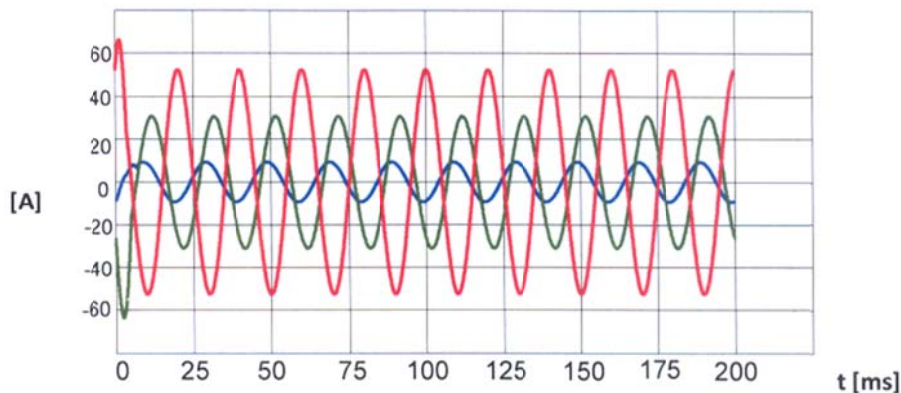
$$u_{d0} = \sqrt{u_d^2 + u_0^2}$$



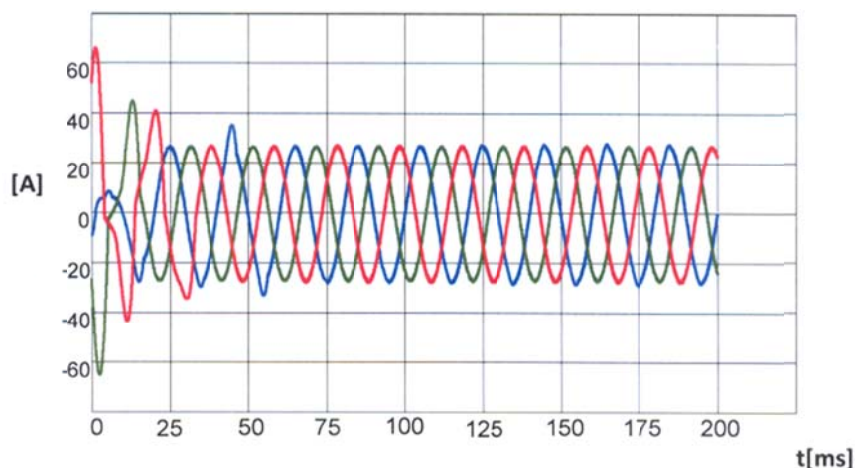
Rys. 4. System STS z filtrem SAF

Schemat ideowy układu systemu STS z filtrem SAF eliminującym niesymetrię prądów obciążenia przedstawiony jest na rysunku 4.

Przedstawiony na rys. 4 układ, został zaimplementowany w programie symulacyjnym MATLAB-SIMULINK. Wyniki badań przedstawia rysunek 5 oraz 6.



Rys. 5. Przebiegi prądów w sieci STS przy asymetrii obciążenia



Rys. 6. Przebiegi prądów w sieci STS przy asymetrii obciążenia z zastosowaniem filtra SAF

5. WNIOSKI

Jakość energii elektrycznej dostarczanej na statki w systemach STS jest związana z przede wszystkim z bezpieczeństwem pracy systemów okrętowych. Najbardziej zagrożone złą jakością energii elektrycznej są powszechnie używane urządzenia kontrolne i sterujące. Zaproponowane w artykule wybrane metody poprawy jakości energii elektrycznej pozwalają na poprawę bezpieczeństwa i ekonomiki.

Zastosowanie falowników wielopoziomowych w układzie STS znacząco poprawia THD napięć zasilających, jednocześnie zwiększając klasę napięciową przemienników częstotliwości.

Zastosowanie w systemach STS filtrów SAF pozwala niwelować asymetrię prądów wyjściowych przemiennika, a co za tym idzie poprawić parametr jakości energii elektrycznej jakim jest asymetria napięć.

6. LITERATURA

- [1] Tarnapowicz D., Borkowski T., Nicewicz G.: Ships moored in the port with threat to the natural environment. *Management Systems in Production Engineering* 2012/2.
- [2] Tarnapowicz D.: An alternative power supply: the use of ships in port as an environmentally friendly solution. *Management Systems in Production Engineering* 2011/3.
- [3] International Electrotechnical Commission, IEC/ISO/IEEE 80005-1 pt.: INTERNATIONAL STANDARD Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements Edition 1.0 2012-07.
- [4] Hanzelka Z. Jakość Energii Elektrycznej. *Elektroinstalator* nr 9/2001.
- [5] European Commission: Amended proposal for a European Parliament and Council Directive concerning common rules for the internal market in electricity. *Official Journal of European Communities*, no C 123, 4.5.94.
- [6] Mindykowski J. Tarasiuk T. Jakość energii elektrycznej a ekonomiczna eksploatacja okrętowych systemów technicznych. *Jakość energii elektrycznej Tom IV Zeszyt 2 Rok 1998*.
- [7] Czarnecki Leszek S.: Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No.1, Jan. 2006, pp. 362-367.
- [8] Akagi H. et al.: Generalized theory of instantaneous reactive power in three-phase circuits. *Conf. Rec. IPEC'83, Tokyo, 1993*, pp.1375-1386.

- [9] Park R.: Two reaction theory of synchronous machines, AIEE Transactions, vol. 48, pp. 716–730, 1929.
- [10] Kim H, Blaabjerg F., Back-Jensen B.: ”Instantaneous power compensation in three – phase systems using p-q-r theory” – IEEE Trans. – Power Electronics, vol.17, no 5. 2002.