

Dlaczego w sieci energetycznej występuje 50Hz?

Streszczenie

W artykule przedstawiono najważniejsze fakty z historii rozwoju elektrotechniki, które w krajach europejskich doprowadziły do wyboru częstotliwości sieci elektroenergetycznej równej 50Hz. Stosowane obecnie parametry sieci są wynikiem doświadczeń najwybitniejszych naukowców, wynalazców i inżynierów elektryków. Nie zabrakło wśród nich Polaków, chociaż Polska w czasach najważniejszych odkryć w tej dziedzinie istniała tylko w świadomości jej obywateli.

1. Wstęp

Stany Zjednoczone i większość krajów Ameryki Południowej używa 60Hz a Europa oraz reszta świata z kilkoma wyjątkami stosuje 50Hz. Amerykanie wykorzystują napięcie 110V aktualnie zwiększone do 120V, w Europie używa się napięcia 220V obecnie zwiększonego do 230V. Różne napięcia i częstotliwości wydają się być w większym stopniu sprawą tradycji niż optymalizacji sieci rozdzielczej, mogą być także swoistym splotem paru powodów, takich jak stan wiedzy w latach dziewięćdziesiątych XIX wieku i korzyści rywalizujących ze sobą wówczas przedsiębiorstw.

Standaryzacja podstawowych parametrów sieci niskiego napięcia pojawiła się w Unii Europejskiej w roku 1995. Pięć lat później do Unii dołączyła Australia, w której podobnie jak w Anglii obowiązywało napięcie 240V.

2. Historia za oceanem

George Westinghouse jako pierwszy opracował prądnicę napędzaną silnikiem parowym, pracującą z prędkością 2000rpm, rys.1. W roku 1886 inżynierowie mechanicy chcieli, aby maszyny parowe wykonywały całkowitą liczbę obrotów na minutę. Z czterema parami biegunów prądnica była w stanie wytworzyć 8000 cykli na minutę, czyli 133 1/3 Hz. Taka częstotliwość była korzystna z punktu widzenia oświetlenia gdyż nie powodowała migotania światła, jednak była zbyt wysoka dla silników, wynalezionych nieco później. Wczesne eksperymenty (lata 1886 i 1887) wykorzystywały generatory napędzane pasem transmisyjnym, który pozwalał na pracę z taką prędkością obrotową, rys.2. Dzięki temu oświetlenie, które było jedynym wówczas przeznaczeniem prądu przemiennego, nie traciło na jakości w porównaniu z zasilaniem prądem stałym. W latach 1889 i 1890 zaczęły pojawiać się gene-

ratory sterowane bezpośrednio. Były one potężniejsze, więc obracały się z mniejszą prędkością, i nie wytwarzały tak dużych częstotliwości jak poprzednie rozwiązania.

We wczesnych latach rozwoju elektrotechniki każda grupa inżynierów używała własnych wielkości napięć i częstotliwości. Pierwsze częstotliwości, jakich używano w USA to 133 1/3, 125, 88 1/3, 66 1/3, 60, 50, 40, 30, 25Hz[2]. Westinghouse używał częstotliwości, 133 1/3 Hz do czasu, gdy do firmy dołączył Nikola Tesla, rys.3. Jego silnik indukcyjny, skonstruowany z uwzględnieniem częstotliwości, 60Hz, przy częstotliwości 133 1/3 Hz tracił założone parametry. Chorwacki wynalazca uparcie dążył do zmiany standardu obowiązującego w firmie. Rok 1886 uznano za datę powstania pierwszego samochodu z silnikiem benzynowym. Silniki parowe powoli przechodziły do historii napędu. George Westinghouse przydzielił swoich inżynierów Stillwella, Shallenbergera, Schmida oraz Scotta do specjalnego zadania polegającego na dostosowaniu silnika tłokowego do napędu alternatora, Tesli. Przed końcem 1892 roku wybrano dwie częstotliwości, 60Hz dla oświetlenia oraz 30Hz do zastosowań, w których energia prądu przemiennego miała być zamieniana na energię mechaniczną. Czy Tesla miał decydujący wpływ na wybór częstotliwości w firmie Westinghousea? W tym czasie Tesla prowadził badania z częstotliwościami z przedziałów od 8 do 20Hz, od 20 do 40Hz oraz od 40 do 100Hz. Zdecydował wówczas, że częstotliwość 60 Hz jest dla jego konstrukcji najlepsza a także bezpieczna. Słowo bezpieczna częstotliwość w tamtym okresie miała podwójne znaczenie. Thomas Alva Edison, rys. 4 uchodził wtedy za niekwestionowany autorytet w dziedzinie elektryczności dzięki wynalezieniu żarówki, budowie pierwszej elektrowni i oświetleniu Nowego Jorku. Wszystkie urządzenia oraz instalacje zasilane były prądem stałym. Firma Edison **General Electric Company GE** dominowała na rynku energii elektrycznej, dzisiaj według www.millward-brown.com, jest na drugim miejscu listy najcenniejszych firm na świecie. Gdy pojawiła się konkurencja w postaci firmy **Westinghouse Corporation** zaczęła się walka i to nie na żarty. Westinghouse słusznie uważał, że prąd przemienny jest w eksploatacji skuteczniejszy

od prądu stałego. W odpowiedzi na postawiony zarzut Edison wszczął kampanię zarzucając konkurencji, że prąd przemienny jest niebezpieczny. Znała jest demonstracja, w której Edison dla potwierdzenia wyższości prądu stałego nad prądem przemiennym uśmiercił zwierzęta przywiązane do metalowej konstrukcji, którą następnie zasilili prądem przemiennym. Jednym z ubocznych skutków tego upiornego doświadczenia był fotel elektryczny.

W latach dwudziestych ubiegłego stulecia w USA popularne były zegarki synchronizowane częstotliwością sieci 60Hz. Z pewnością jednak nie był to powód, dla którego naukowcy Westinghousea i Tesla wybrali, 60Hz. Zegarki takie opatentowano dopiero w roku 1916 przez Henry'ego Warrena.

Na początku lat dwudziestych XX wieku, Westinghouse wziął udział w przetargu na dostawę sprzętu elektrycznego do projekt-



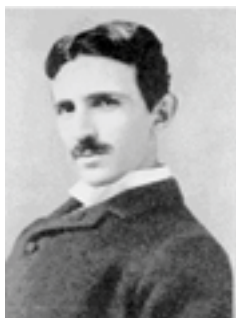
RYŚ. 1. GEORGE WESTINGHOUSE (1846 - 1914), AMERYKAŃSKI WYNALEZCA I PRZEMYSŁOWIEC.[1]



RYŚ. 2. GENERATOR NAPEĐZANY PASEM TRANSMISYJNYM.[11]

RYS. 4 THOMAS ALVA EDISON (1847 - 1931), AMERYKAŃSKI WYNAALAZCA, AUTOR PONAD 5000 PATENTÓW[12].

RYS. 3. NIKOLA TESLA (1856 - 1943) CHORWAŃSKI WYNAALAZCA, POETA I MALARZ. AUTOR 112 PATENTÓW[4].



RYS. 5 WNĘTRZE ELEKTROWNI WODOSPAD NIAGARA[13].

tu *Niagara Falls* (elektrownia wodna na wodospadzie Niagara). Firma **Cataract Company**, która kontrolowała projekt Niagara Falls, miała już wybrane turbiny wodne, pracujące z prędkością 250rpm. Istniejący 16-biegunowy generator wytwarzał przy tej prędkości przebiegi z częstotliwością $33 \frac{1}{2}$ Hz. Dysponowano również 12-biegunowym generatorem, który dostarczał częstotliwość 25 Hz. Trzecią propozycją był generator 8-biegunowy pracujący z częstotliwością $16 \frac{1}{3}$ Hz. Ostatecznie na drodze kompromisu wybrano częstotliwość 25Hz. Na rzecz tamtego wyboru przemawiał fakt, że łatwiej było przesyłać sygnały o niższych częstotliwościach oraz to, że przemysł stalowy, używał wówczas potężnych wolnobieżnych kolejek, które osiągały niski współczynnik sprawności przy 60Hz.

W roku 1910 wyglądało na to, że w Północnej Ameryce będą obowiązywać dwie częstotliwości: 25Hz dla transmisji i przemysłu ciężkiego oraz 60Hz dla oświetlenia i zastosowania ogólnego. W latach dziewięćdziesiątych XIXw. **GE** podjęła próbę znalezienia kompromisu pomiędzy 25Hz a 60Hz sugerując 40Hz, ale było za późno, aby wyprzeć 60Hz i 25Hz. Infrastruktura na te częstotliwości już istniała i było jej zbyt dużo. Choć powstało kilka instalacji używających 40Hz to, po tym jak Westinghouse i **GE** udostępniły swoje patenty, większość instalacji w USA została zbudowana na 60Hz[5]. Szybkie turbiny wyparły wolne maszyny łożkowe a późniejszy rozwój prostownika mechanicznego (komutatora), który dobrze pracował przy 60Hz ułatwił przejście na 60Hz. Przed rokiem 1920 większość problemów związanych z dystrybucją energii elektrycznej o częstotliwości 60Hz zostało rozwiązanych, stąd stosowanie 25Hz nie było już konieczne. I tak zostało. Ameryka Północna do dzisiaj stosuje w sieciach elektroenergetycznych 60Hz.

3. Historia w Europie

Europa była bardziej podzielona niż USA. W 1918 w Londynie istniało 70 różnych elektrycznych organizacji, z 50 różnymi typami systemów, z 10 różnymi częstotliwościami i 24 różnymi napięciami [3]. Jednak w latach 1920 - 1930 coraz większa część Europy zaczęła przestawiać się na pracę z 50Hz. Koncernem wiodącym w branży elektrycznej na kontynencie była niemiecka firma AEG, wtedy filia **GE**. Niemcy przejęły inicjatywę w Europie i AEG zaczęła eksperymentować z 50Hz.

W 1891 AEG zaprezentowało system dystrybucji na dużą odległość. W firmie pojawił się Michał Doliwo-Dobrowolski i zaproponował budowę pierwszej na świecie linii transmisyjnej pracującej w układzie trójfazowym. Była to linia z elektrowni wodnej w Lauffen do Frankfurtu a dokładniej sieć energetyczna składająca się z transformatora podwyższającego napięcie do 10kV z linii przesyłowej trójfazowej, która kończyła się transformatorem obniżającym napięcie zainstalowanym na terenie Światowej Wystawy Elektrotechniki, rys. 6. Obciążeniem instalacji były żarówki oraz silnik trójfazowy klatkowy wynaleziony przez konstruktora linii. Do historii elektrotechniki słowo transformator wprowadzili węgierscy uczeni, jednak to Polak znalazł dla niego najważniejsze zastosowanie. Częstotliwość sieci była równa 40Hz. Moc turbiny wodnej była równa 300KM, moc prądu 230KM, napięcie 95V. Zjawisko migotania żarówek przy tej częstotliwości zasilania przesądziło o wyborze 50Hz w projektach, w których uczestniczyła firma.

W latach 20 ubiegłego wieku w Anglii i we Włoszech eksperymentowano z częstotliwością 42Hz. W Szwajcarii do teraz pracują kolejki zasilane napięciem z częstotliwością $16 \frac{2}{3}$ HZotrzymywaną z systemu pracującego z częstotliwością 50Hz.

Był to przełomowy moment w historii rozwoju elektrotechniki. Elektryczność przestawała być dziedziną teoretyczną. Powstał dział techniki, który przyczynił się do przyspieszenia postępu technologicznego w innych



RYS. 6. STACJA KOŃCOWA LINII ZBUDOWANEJ PRZEZ MICHAŁA DOLIWO-DOBROWOLSKIEGO[8].



RYS. 7 MICHAŁ DOLIWO-DOBROWOLSKI (1862-1919)[7].

dziejzinach. Wydatnie wzrósł standard życia mieszkańców nie tylko dużych miast. W 1895 roku zbudowano sieć energetyczną z Nowogrodu Bobrzańskiego do Zielonej Góry. Młyn wodny pełnił rolę turbiny wodnej. Instalację stworzono według projektu firmy AEG. Była to jedna z pierwszych instalacji w ówczesnych Niemczech. Na Dolnym Śląsku trzecia w kolejności po Wrocławiu i Wałbrzychu [6].

4. Teraźniejszość

Maszyny elektryczne o dużej masie (przekraczającej nawet 100 ton) nie mogą kręcić się z dowolnie dużą prędkością. Ze względu na wytrzymałość mechaniczną łożysk maszyn i pierścieni ślizgowych, prędkości obrotowe zbliżone do 3000rpm okazały się najodpowiedniejsze. Częstotliwość 50Hz jest kompromisem pomiędzy stratami przesyłowymi, a rozmiarami maszyn elektrycznych, ciężarem surowców i ich ceną.

Czy na Świecie dominuje częstotliwość 50Hz? Odpowiedź na to pytanie ilustruje rys.8.

W historii zarówno Europa jak i Ameryka Północna stosowała napięcia od 100V do 110V DC. Edison wybrał 110V DC, ponieważ było to napięcie, które emitowało dość światła z jego żarówek, aby wyprzeć latarnie gazowe i jednocześnie nie powodowało szybkiego wypalania się włókna w żarówce.

W Europie, Berliner Elektrizitäts Werk, który należał do AEG, zainicjował przejście z 110V na 220V w 1899 roku, aby powiększyć wydajność ich systemu dystrybucji. Prawdopodobnie Europa przełączyła się wówczas definitywnie z DC na AC. Klienci zachęceni do zmiany zasilania oświetlenia i silników ze 110V na napięcie 220V nie ponosili kosztów wdrażania nowego systemu. Koszty związane ze zwiększeniem napięcia pokryto z oszczędności wynikających z zastosowania mniejszych przekrojów miedzianej instalacji elektrycznej. Być może 220V pojawiło się tylko z tego powodu, że było dwa razy większe od 110V. Dowolne zwiększanie napięcia podobnie jak zwiększanie prędkości obrotowej generatora wiązało się z dużymi kosztami i zmniejszeniem bezpieczeństwa użytkowania urządzeń elektrycznych. Świat do dzisiaj nie podjął decyzji nie tylko w sprawie częstotliwości, ale także w sprawie wartości niskiego napięcia, rys. 8. W Japonii występują dwie częstotliwości. W tej części, w której inwestycje prowadzili Europejczycy do dzisiaj występuje 100V/50Hz, Tokyo. W zachodniej Japonii z kolei więcej do powiedzenia mieli Amerykanie i tam stosuje się 100V/60Hz, Kyoto. Do tej pory nikt z tej różnorodności nie robi problemu. Nauczono się łączyć dwa różne systemy energetyczne na wypadek

konieczności stosowania zasilania rezerwowego. Jednak, co za dużo to nie zdrowo i na wszelki wypadek zastosowano jeden typ wtyczki i gniazda zgodny z amerykańskim NEMA 1-15, rys. 9 [10]. Ilość różnych wtyczek stosowanych na świecie jest znacznie większa od liczby różnych wartości napięć i częstotliwości. W Irlandii można spotkać cztery różne wtyczki, ale w przeciwieństwie do Wysp Japońskich, Zielona Wyspa ograniczyła napięcie i częstotliwość do jednej wartości, która obowiązuje w UE[10].

5. Literatura

1. Mary Bellis, George Westinghouse, <http://inventors.about.com/library/inventors/blwestinghouse.htm>
2. Piotr Olszowiec, Koniec ewolucji systemów elektroenergetycznych? 230V, 50Hz versus 120V, 60Hz, http://www.ogrzewnictwo.pl/index.php?akt_cms=1280&cms=15.
3. Gordon Woodward, *City of Coventry Single and Two Phase Generation and Distribution*, retrieved from http://www.iee.org/OnComms/pn/History/HistoryWk_Single_&_2_phase.pdf October 30, 2007
4. Nikola Tesla, chorwacki konstruktor i wynalazca, <http://www.eioba.pl/a76782>
5. Owen, E.L., *The Origins of 60-Hz as a Power Frequency*, *Industry Applications Magazine*, IEEE, Volume: 3, Issue 6, Nov.-Dec. 1997, Pages 8, 10, 12-14.
6. Zbigniew Bujkiewicz, <http://krzystkowice.eisp.pl/artykuly/>
7. L. Turek-Kwiatkowska, *Elektryka na Pomorzu Zachodnim*, wyd. PPH Zapol, Szczecin 2006, ISBN 83-60-140-69-3.
8. Internationale Elektrotechnische Ausstellung 1891, <http://de.wikipedia.org/wiki/http://www.ita.doc.gov/media/Publications/pdf/current2002FINAL.pdf>
9. List of countries with mains power plugs, voltages and frequencies, <http://en.wikipedia.org/>
10. Ime Prezime, World map plug type in use, <http://en.wikipedia.org/>
11. The Bancroft Library. University of California, Berkeley. <http://sunsite.berkeley.edu/FindingAids/dynaweb/calher/redwood/figures/I0026189A.jpg>

RYŚ. 8. CZĘSTOTLIWOŚĆ W SIECI NISKIEGO NAPIĘCIA[9].



RYŚ. 9 GNIAZDO NEMA 1-15 STOSOWANE W JAPONII I USA.[10].



12. Thomas Alva Edison, <http://www.thomasedison.com/>
13. Niagara Falls - <http://www.pbs.org/tesla/III/niagara.html>

6. Przegląd literatury

14. Jürgen Steen (Hg.): *"Eine neue Zeit ...!"*, Die Internationale Elektrotechnische Ausstellung 1891. Frankfurt am Main 1991 (Ausstellungskatalog Historisches Museum Frankfurt am Main), ISBN 3-89282-022-8
15. Horst A. Wessel (Hg.): *Moderne Energie für eine neue Zeit*, siebtes VDE-Kolloquium am 3. und 4. September 1991 anlässlich der VDE-Jubiläumsveranstaltung "100 Jahre
16. **Thomas P. Hughes**, *Networks of Power: Electrification in Western Society 1880-1930*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1983 ISBN 0-8018-2873-2 pgs. 282-283
17. Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation, *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, 4th Ed., Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh PA, 1950, no ISBN
18. Edwin J. Houston and Arthur Kennelly, *Recent Types of Dynamo-Electric Machinery*, copyright American Technical Book Company 1897, published by P.F. Collier and Sons New York, 1902
19. H.T. Kohlhaas, (ed.), *Reference Data for Radio Engineers 2nd Edition*, Federal Telephone and Radio Corporation, New York, 1946, no ISBN
20. Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, *Standard Handbook for Electrical Engineers, Eleventh Edition*, McGraw-Hill, New York, 1978, ISBN 0-07-020974-X, page 16-15,16-16
21. "Drehstrom" in Frankfurt am Main (= Geschichte der Elektrotechnik, Bd.11). Berlin/Offenbach 1991, ISBN 3-8007-1813-8
22. Volker Rödel: *Fabrikarchitektur in Frankfurt am Main 1774-1924*, Frankfurt 1986, S.30f., ISBN 3-7973-0435-8
23. B. G. Lamme, *The Technical Story of the Frequencies*, Transactions AIEE January 1918, reprinted in the Baltimore Amateur Radio Club newsletter *The Modulator* January -March 2007
24. B. G. Lamme, *The Technical Story of the Frequencies*, Transactions AIEE January 1918, reprinted in the Baltimore Amateur Radio Club newsletter *The Modulator* January -March 2007
25. Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation, *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, 4th Ed., Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh PA, 1950, no ISBN
26. Edwin J. Houston and Arthur Kennelly, *Recent Types of Dynamo-Electric Machinery*, copyright American Technical Book Company 1897, published by P.F. Collier and Sons New York, 1902
27. H.T. Kohlhaas, (ed.), *Reference Data for Radio Engineers 2nd Edition*, Federal Telephone and Radio Corporation, New York, 1946, no ISBN

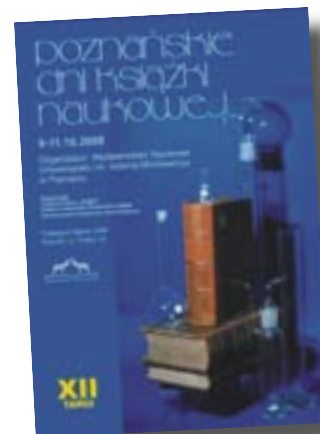
Rafał Gonczarko, Paweł Szymczuk
Koło Naukowe SEP UZ

Targi Wydawnicze



Oficyna Wydawnicza UZ jest aktywnym członkiem Stowarzyszenia Wydawców Szkół Wyższych (www.swsw.uksw.edu.pl). 8 października br. odbyło się drugie – w tej kadencji Zarządu Stowarzyszenia – wyjazdowe posiedzenie, którego gospodarzem tym razem był Uniwersytet Zielonogórski. W spotkaniu uczestniczyli – ze strony Uniwersytetu Zielonogórskiego Prorektor ds. Rozwoju UZ prof. Krzysztof Urbanowski, a ze strony SWSW: prezes Henryk Podolski, wiceprezes Grażyna Jarzyna oraz Irena Bulczyńska, skarbnik, a jednocześnie kierownik Oficyny Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Oficyna Wydawnicza UZ, jak co roku, wzięła udział w kolejnych – XII – Poznańskich Dniach Książki Naukowej w Poznaniu. Targi odbyły się tradycyjnie pod patronatem JM Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, przy współpracy Polskiego Towarzystwa Wydawców Książek i Stowarzyszenia Wydawców Szkół Wyższych. Honorowy patronat objął



Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W trakcie inauguracji (9 października br.) ogłoszono m.in. werdykt jury dwóch prestiżowych konkursów: o Puchar Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za Najlepszą Książkę Akademicką 2008 oraz o Nagrodę Stowarzyszenia Wydawców Szkół Wyższych im. Ks. Edwarda Pudełko. POZNAŃSKIE DNI KSIĄŻKI NAUKOWEJ gromadzą zwykle liczne grono wydawców książek naukowych, popularnonaukowych, medycznych, ekonomicznych, muzycznych, wydawców akademickich oferujących monografie, podręczniki, słowniki, encyklopedie, atlasy oraz wydawnictwa artystyczne, albumy, eseistykę i literaturę piękną – w sumie udział wzięło 52 wystawców. Impreza odbyła się w zabytkowych i stylowych wnętrzach uniwersyteckiego Collegium Maius przy ul. Fredry 10.

Irena Bulczyńska