

Nowoczesne napędy elektryczne dzwonów

Stefan Gierlotka

Dzwony człowiekowi towarzyszą ciągle – od narodzin do śmierci. Odmierzają czas pracy i modlitwy, służą także do wyrażania smutku i triumfu. Największe dzwony znajdują się w świątyniach Dalekiego Wschodu. Dzwony azjatyckie różnią się od europejskich nie tylko smukłym kształtem, ale i tym, że nie posiadają wewnątrz serca. W dzwon azjatycki uderza się drewnianą belką zawieszoną na linach. Największy dzwon na świecie – Great Bell of Dhammazedi o masie około 297 ton, wysokości 6,2 m i średnicy 4,1 m – został wykonany z brązu w 1484 roku i zawieszony w złotej pagodzie Shwe Dagon w Yangoon, w Birmie. W Europie największy dzwon Car Kołokoł, który nigdy nie zadzwonił, znajduje się na Kremlu w Moskwie. Waży 202 tony, jego wysokość to 6,14 m, a średnica u podstawy 6,60 m.

W Polsce najstarszym zachowanym dzwonem jest dzwon Nowak z Katedry Wawelskiej. Został odlany około 1271 roku i waży 420 kg. Znany dzwon Zygmunta z Katedry Wawelskiej w Krakowie odlany został w 1520 roku. Średnica dzwonu u podstawy wynosi 2,4 m, a wysokość 2,41 m. Masa dzwonu z sercem i jarzmem wynosi 12,600 ton. Obecnie największy w Polsce dzwon Maryja Bogurodzica z bazyliki w Licheniu waży 14,77 ton, w tym serce – 400 kg. Odlany został w 1999 roku, w ludwisarni Enrico Campannigo pod Mediolanem.

Zawieszenie dzwonu

Dzwon mocowany jest do jarzma, które stanowi ruchomy element zawieszenia. Spotyka się zasadniczo dwa rodzaje zawieszenia dzwonów: na jarzmie prostym lub na jarzmie łamanym, oparte

o wał wykorbiony. Na Wyspach Brytyjskich oraz w Ameryce Północnej i Łacińskiej spotyka się też zawieszenia kołowe. W tym rozwiązaniu dzwon wprawiany jest w ruch obrotowy (nie wahadłowy) wokół osi jarzma, a opadające serce powoduje jego bicie.

Wybór konstrukcji jarzma zależy od masy i momentu bezwładności dzwonu oraz od konstrukcji wieży, w której ma być zawieszony. Dzwony o małej masie, do 0,5 tony, zawieszają się na jarzmie prostym. Dzwony duże i ciężkie zawieszają się na jarzmie łamanym. Zawieszenie dzwonów na jarzmie łamanym jest preferowane w Polsce, Francji, Hiszpanii, Włoszech, na Węgrzech, zaś na jarzmie prostym w Niemczech, Czechach, Austrii, Słowacji i Szwajcarii.

Dawne jarzma wykonywano z dębowego drewna i były one łączone z koroną dzwonu kutymi klamrami i taśma-

Streszczenie: W artykule omówiono historię powstania dzwonów. Przedstawiono najbardziej znane dzwony na świecie i w Polsce. Opisano różne rodzaje napędów dzwonów stosowanych w przeszłości. Zaprezentowano nowoczesny napęd dzwonów z wykorzystaniem elektrycznego silnika liniowego.

MODERN ELECTRIC DRIVES OF BELLS

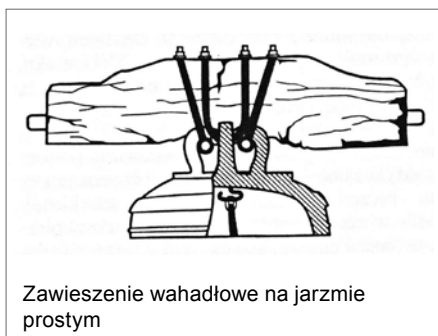
Abstract: The article discusses the origins of the bells. Presents the most famous bells in the world and in Poland. Describes the different types of bells drives used in the past. Presented modern bells drive using a linear electric motor.

mi. Jarzma stalowe rozpowszechniły się w XIX wieku i były początkowo nitowane.

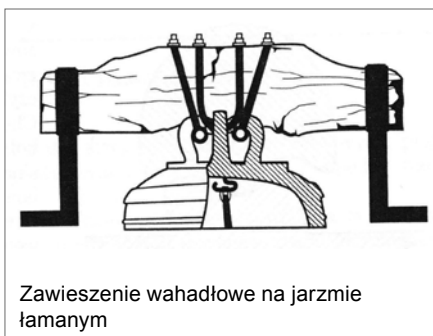
Dzwony zawieszane na jarzmie prostym mają lepszą akustykę i o około 30% większy zasięg słyszalności od dzwonów na jarzmie łamanym. Praca dzwonu na jarzmie prostym powoduje powstanie czterokrotnie większych sił oddziałujących na konstrukcję wieży. W przypadku zawieszenia dzwonu na jarzmie łamanym oddziaływanie sił poziomych jest mniejsze. Dla zmniejszenia sił dynamicznych przenoszonych na konstrukcję wieży stosuje się wibroizolatory.

Tabela 1. Znane dzwony w Polsce

Nazwa dzwonu	Miejscowość	obiekt	masa [tony]	średnica [m]	Rok odlania
Maryja Bogurodzica	Stary Licheń	Klasztor Marianów	14,7	2,88	1999
Józef	Stary Licheń	Klasztor Marianów	11,6	2,62	2002
Zygmunt	Kraków	katedra	10,9	2,42	1520
Władysław	Warszawa	Kościół bł. Władysława	9,5	2,4	2001
Tuba Dei	Toruń	Katedra św. Jana	7,5	2,27	1500
Maria	Częstochowa	Jasna Góra	8,2	2,27	1912
Gratia Dei	Gdańsk	Bazylika Mariacka	7,8	2,18	1979
Wojciech	Gniezno	katedra	6,3	2,08	1726
Św. Jakub	Szczecin	katedra	5,7	2,1	1681



Zawieszenie wahadłowe na jarzmie prostym



Zawieszenie wahadłowe na jarzmie łamanym

Wykonanie jarzma łamanego wymaga dużego doświadczenia, gdyż należy dobrze wyznaczyć wysokość osi łożyskowania. Przebieg osi łożyskowania jarzma nie może przechodzić przez środek ciężkości dzwonu, gdyż siła grawitacyjna nie spowoduje wahnięcia powrotnego do stanu równowagi. Dobrze zaprojektowana wysokość osi łożyskowania zawieszenia wpływa na pracę napędu i jakość dzwonienia. Spotykane jarzma łamane posiadają łożyskowanie na wysokości nie mniejszej niż jedna trzecia wysokości mierzona od górnej krawędzi korony dzwonu. Oś łożyskowania jarzma łamanego powinna pokrywać się z wysokością zawieszenia serca wewnątrz dzwonu. Źle wykonane jarzmo łamane powoduje powstawanie sił poziomych przenoszonych na konstrukcję dzwonnicy i jej drgania.

Wytworzenie siły napędowej do poruszania dzwonu na jarzmie prostym wymaga znacznie więcej energii niż dzwonu zawieszzonego na jarzmie łamanym.

Napęd dzwonów

Dzwony poruszają się ruchem wahadłowym. Częstotliwość bicia dzwonów, mierzona liczbą uderzeń na minutę, zależy od masy dzwonu, konstrukcji jarzma i kąta wychylenia. Opracowane warunki techniczne pracy dzwonu podaje niemiecka norma DIN 4178. Norma określa wymagane parametry ruchu wahadłowego dzwonu zależnie od masy, rodzaju wykonania i emitowanego przez dzwon tonu. Wartości parametrów pracy napędów według tej normy podano w tabeli 2.

W przeszłości napęd dzwonów stanowiła siła mięśni ludzkich. Układ pociągowy wykonywany był indywidualnie dla każdego dzwonu przez miejscowych rzemieślników, według własnych pomysłów konstrukcyjnych. Historycznie stosowano też napęd nożny dzwonu, w którym dwie grupy osób naciskiem nóg na ramię dźwigni, ciężarem swych ciał powodowały ruch wahadłowy. Taki napęd nożny zastosowano dla dzwonu Tuba Dei w ka-



Dzwon na jarzmie łamanym

tedrze św. Jana w Toruniu. Napęd nożny stosowany był sporadycznie w okresie późnego średniowiecza i tylko dla poruszania dużych dzwonów.

Rozwój napędu elektrycznego przyczynił się do zastosowania silnika elektrycznego w poruszaniu dzwonów. Od początku XX wieku powstało wiele mechanizmów przekształcających ruch obrotowy silnika elektrycznego na ruch wahadłowy dzwonu. Współcześnie stosowany jest napęd z rotacyjnym silnikiem elektrycznym, napęd z elektrycznym silnikiem liniowym oraz sporadycznie stosowany system ciągnącego solenoidu.

W tradycyjnym wykonaniu napędu dzwonu z silnikiem elektrycznym powstało wiele układów konstrukcyjnych, które ruch obrotowy przekształcały na ruch wahadłowy. W najprostszych wykonaniach ruch wahadłowy powstaje przez

Tabela 2. Wartości dzwonów dużych wg DIN 4178:2005-04

Tonacja		1				2				3			
		Dzwon w wykonaniu lekkim				Dzwon w wykonaniu średnim				Dzwon w wykonaniu ciężkim			
		Średnica dzwonu	Masa dzwonu	Liczba uderzeń	Kąt dzwonienia	Średnica dzwonu	Masa dzwonu	Liczba uderzeń	Kąt dzwonienia	Średnica dzwonu	Masa dzwonu	Liczba uderzeń	Kąt dzwonienia
		mm	ton	1/min		mm	ton	1/min		mm	ton	1/min	
1	dis° es°	2450	9,0	36	49°	2700	14,0	33	43°				
2	e°	2350	7,5	37	50°	2500	10,5	34	45°				
3	f°	2290	5,7	39	51°	2420	8,0	35	47°	2900	20,0	33	44°
4	fis° ges°	2160	4,8	40	51°	2290	6,8	37	48°	2700	16,0	34	45°
5	g°	2030	4,0	42	52°	2160	5,6	38	48°	2500	13,0	36	46°
6	gis° as°	1910	3,3	43	53°	2030	4,6	39	49°	2400	11,0	37	47°
7	a°	1800	2,8	45	54°	1920	4,0	40	50°	2260	9,0	39	48°
8	ais° b°	1700	2,3	46	55°	1800	3,3	42	51°	2100	7,5	41	48°
9	h°	1600	2,0	47	56°	1700	2,7	43	52°	2000	6,2	42	49°
10	c'	1500	1,7	49	57°	1600	2,3	45	53°	1870	5,0	44	50°
11	cis' des'	1400	1,4	51	58°	1500	1,9	47	54°	1750	4,2	45	51°
12	d'	1340	1,15	52	59°	1420	1,6	49	55°	1650	3,5	47	52°
13	dis' es'	1260	0,95	53	60°	1340	1,35	50	56°	1540	2,9	49	53°
14	e'	1190	0,8	54	61°	1270	1,15	51	57°	1450	2,4	50	54°
15	f''	1110	0,65	56	62°	1190	0,95	52	58°	1360	2,0	51	55°
16	fis' ges'	1050	0,55	57	63°	1120	0,8	54	59°	1280	1,7	53	56°
17	g'	990	0,46	58	64°	1060	0,66	55	60°	1200	1,4	54	57°
18	gis' as'	930	0,39	60	65°	1000	0,55	57	61°	1130	1,1	56	58°
19	a'	870	0,32	61	66°	940	0,45	58	62°	1060	0,9	57	59°
20	ais' b'	820	270	63	67°	880	400	60	63°	1000	750	58	60°
21	h'	770	220	65	68°	830	320	61	64°	940	650	59	61°
22	c''	730	190	66	70°	780	270	62	65°	880	550	61	62°
23	cis'' des''	680	160	67	71°	740	230	64	66°	830	450	62	63°
24	d''	640	130	68	72°	690	180	65	67°	780	380	63	64°
25	dis'' es''	600	110	69	73°	650	160	66	67°	730	310	64	65°
26	e''	570	90	70	74°	610	130	67	68°	69	260	65	66°
27	f''	530	75	72	75°	580	110	68	69°	650	220	66	67°
28	fis'' ges''	500	60	74	76°	540	90	69	70°	610	180	67	67°
29	g''	470	50	75	77°	500	75	70	72°	570	150	68	68°
30	gis'' as''	440	40	77	78°	470	60	71	73°	540	130	69	69°
31	a''	410	35	79	79°	460	50	73	74°	510	110	70	70°
32	ais'' b''	390	30	81	80°	430	40	75	75°	480	90	72	71°
33	h''	360	25	83	81°	400	35	77	76°	450	70	73	72°
34	c''	340	20	83	82°	370	30	79	78°	420	60	75	74°



Chion Temple, Kyoto (Japonia)

reklama



Dzwon Zygmunta w Krakowie

zmianę kierunku wirowania silnika elektrycznego. Sterowanie ruchem wahadłowym odbywa się przez wyłączniki krańcowe zainstalowane na konstrukcji zawieszenia dzwonu. W najprostszym wykonaniu na łożyskowanym jarzmie dzwonu mocowano duże koło łańcuchowe. Pod konstrukcją koła łańcuchowego umieszczano silnik elektryczny z zabudowanym na wale małym kołem łańcuchowym. Oba koła opasuje napędowy łańcuch drabinkowy Galla. Stosunek różnicy średnic kół łańcuchowych stanowiła przekładnia napędu. Odpowiednio ustawione wyłączniki krańcowe po zasterowaniu zmieniały kierunek wirowania silnika napędowego i ruchu wahadłowego dzwonu.

W innym rozwiązaniu moment napędowy silnika po zredukowaniu obrotów w przekładni był przenoszony układem korbowym na jarzmo dzwonu. Napęd ten posiada dużo wad, a przy zaniku napięcia zasilania dzwon był unieruchomiony.

Układy napędowe były udoskonalane i doczekały się wielu ciekawych rozwiązań. Skonstruowano też napęd dzwonu oparty o system pociągania siłą wytwarzaną przez siłownik elektromagnetyczny. Wytwarzana siła pociągowa poruszała ciężko oddziałujące na dźwignię sprzężoną z jarzmem dzwonu. Powrót do równowagi dzwon wykonywał siłą grawitacji.

Napęd dzwonów silnikiem liniowym

Współcześnie do napędów dzwonów znalazł zastosowanie elektryczny silnik liniowy w wersji płaskoinduktorowej. Ten rodzaj napędu posiada dużo zalet i wypiera napęd tradycyjny

z silnikiem obrotowym. Pierwsze napędy dzwonów z elektrycznym silnikiem liniowym powstały w firmie Antoniego Rducha już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

Silnik liniowy powstaje przez przeobrażenie obrotowego silnika indukcyjnego w płaskie rozwinięcie wzdłuż tworzącej. W wykonaniu silnika o strukturze liniowej część pierwotna zasilana z sieci elektrycznej nazywa się induktorem, a część wtórna bieźnią. Induktor to ferromagnetyczny rdzeń stalowy z umieszczonym w żłobkach uzwojeniem wytwarzającym przemieszczający się strumień magnetyczny. Bieźnię wykonuje się z blachy stalowej przewodzącej strumień magnetyczny, na której jest nakładka z blachy aluminiowej przewodzącej indukowany prąd elektryczny. Blacha stalowa zmniejsza reluktancję obwodu magnetycznego i wzmacnia mechanicznie bieźnik, wprowadza jednak działanie sił przyciągania między induktorem a bieźnikiem.

W przypadku napędu dzwonów induktor zamocowany jest trwale do konstrukcji dzwonnicy, a ruchoma bieźnia jest zamocowana do jarzma dzwonu. Długość bieźni odpowiada drodze wychylenia

dzwonu. Przy pełnym wychyleniu induktor powinien znajdować się nadal pod powierzchnią nieruchomego induktora. Po między bieźnią a induktorem znajduje się szczelina magnetyczna silnika o grubości około 3 mm. W wyniku oddziaływania prądów indukowanych w bieźni z polem magnetycznym induktora powstaje siła pociągowa w części ruchomej silnika. Zmiana kierunku wytwarzanej w bieźniku siły poruszającej dzwon odbywa się przez zmianę kolejności faz zasilania induktora. Zasilanie induktora silnika liniowego odbywa się przez sterownik, który regulując czas pracy, ustala kąt wychylenia i liczbę uderzeń w czasie minuty. Możliwości współcześnie produkowanych sterowników są bardzo duże.

Posiadają między innymi automatyczny układ wyhamowania dzwonu przy zbliżeniu się do końca wychylenia. Prędkość wychylania dzwonu reguluje się siłą ciągu silnika liniowego.

Napęd silnikiem liniowym nie posiada żadnych elementów obrotowych: kół, łańcuchów, przekładni i może być stosowany na jarzmach prostych i łamanych. Napęd nie posiada trwałego połączenia między układem napędowym a jarzmem dzwonu, co w przypadkach braku zasilania umożliwia dzwonienie ręczne, czego nie posiadają wcześniejsze rozwiązania. Elementem sprzęgającym część ruchomą silnika z częścią stałą – induktorem – jest pole magnetyczne w szczelinie.

Produkcję pierwszych krajowych silników liniowych SL-5-100 oraz SL-5-270 o sile ciągu 100 N i 270 N i rozpoczął w 1973 roku Zakład Indukta w Bielsku Białej. Współcześnie produkcję silników liniowych dla napędów dzwonów wykonuje firma Rduch w Połomi koło Wodzisławia Śląskiego. Firma produkuje 15 typów induktorów dla silników liniowych w zakresie siły pociągowej od 30 N do 900 N. Prędkość liniowa produkowanych silników liniowych to 7,5; 5; 3,3; 2,5 m/s. Produkowane silniki liniowe mogą napędzać zarówno małe sygnaturki, jak i największe dzwony, jak dzwon Bł. Władysław o wadze 10 ton na warszawskim Ursynowie. Silniki liniowe produkowane w firmie Rduch oprócz wykorzystania do napędu dzwonów są stosowane do otwierania bram przesuwnych.



Dzwon Pummerin, katedra w Wiedniu



Napęd dzwonu silnikiem liniowym



Induktor silnika liniowego

Układ napędowy dzwonu zasilany jest przez sterownik mikroprocesorowy, który zapewnia płynny rozruch i łagodne hamowanie silnika liniowego. Zaprogramowany zegar pozwala realizować pracę dzwonu w powtarzalnych cyklach z uwzględnieniem kalendarza liturgicznego. Program dla specjalnych okazji posiada aktywizację tempa dzwonięcia, np. powolne dzwonięcie pogrzebowe.

Literatura

- [1] GIERLOTKA S.: *Elektryczne silniki liniowe i ich zastosowanie w napędach*. „Napędy i Sterowanie”. 9/2010.
- [2] GIERLOTKA S.: *Historia elektrotechniki*. Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice 2012.
- [3] KRAMER K.: *Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde*.
- [4] Band 1. Badenia-Verlag, Karlsruhe 1986.
- [5] SCHILLING M.: *Glocken und Glockenspiele*. Greifenverlag zu Rudolstadt. 1982.
- [6] Norma DIN 4178 Glockentürme. April 2005.

dr hab. inż. Stefan Gierlotka

artykuł recenzowany