

związku elementów ruchu może być inne. Otóż na taki zarzut muszę odpowiedzieć, że zdolność poruszania materiału rzeczowego zależy tylko od głębokości i od spadku, a więc od chyżości, że zatem praca poruszania materiału złączona jest ściśle z chyżością.

Można sobie wprawdzie wyobrazić ruch materiału niestabilny, to znaczy taki, że rzeka w czasach po sobie następujących porusza zmienne ilości materiału, (w czasie szybkiego wzbierania

lub szybkiego opadania stanu wody), jednak w takich warunkach pomiary hydrometryczne są niemożliwe, a każdy pomiar staramy się wykonać przy małym, stałym stanie wody. W takim razie i rezultat pomiaru jest dokładniejszy, i z większą pewnością można przypuszczać, że ruch materiału się ustalił, czyli, że ilość i jakość materiału odpowiada chyżości, wytworzonej na podstawie istniejącego spadku i głębokości.

(D. c. n.) Prof. Dr. Maksymilian Matakievicz.

Postępy na polu przenoszenia energii i trakcyi elektrycznej w Szwajcaryi.

Skreślił Kazimierz Drewnowski, inż.-elektr.

(Ciąg dalszy).

2. Centrala „Albula“.

Już w r. 1902 miasto Zurych spodziewając się w niedługim czasie zupełnego obciążenia miejskiej elektrowni w Letten, mającej popęd mieszany, wodny i parowy, starami turbinami wodnymi i nowymi parowami, postanowiło postawić nowoczesną wielką centralę wodno — elektryczną, któraby pokryła w zupełności zapotrzebowanie energii przez miasto Zurych w przyszłości, a nawet mogła zasilić okolicę coraz więcej się uprzemysłowiającą. Ponieważ większych sił wodnych w pobliżu nie było, sięgnięto aż do kantonu Graubünden, do spadków rzeki Albuli, odległych o 140 km od Zurychu. Przedwstępne studia, badania, oraz sama budowa zabrały 7 lat czasu, tak, że dopiero z końcem zeszłego roku centrala miała być w ruch puszczona.

Tymczasem zapotrzebowanie prądu elektrycznego w mieście wzrastało, tak, że istniejąca elektrownia okazała się już niewystarczającą. Elektrownia w Letten ma dostarczać prądu dla trzech celów: dla oświetlenia, siły motorycznej i tramwajów. Sieć oświetlenia ma prąd jednofazowy o napięciu 2000 V i 50 okresach, transformowany na 2×105 V; dla siły jest trójprąd 6000/500 V; dla zasilania tramwajów służą dwie stacje przetwornic dające prąd stały o napięciu 550 V. Zapotrzebowanie energii wynosiło d. 30 września 1906

dla oświetlenia . . .	5 168 KW
„ siły	1 572 „
„ tramwajów . . .	1 720 „
Razem	8 460 KW

Aby pokryć to zapotrzebowanie energii, które przekraczało moc elektrowni, będącą do dyspozycji, zawarto układ z tow. „Motor“ w Badenie, które obowiązało się dostarczać do Zurychu 2500 KW z centrali w Beznau przez czas trwania budowy centrali Albula, t. j. do końca r. 1909.

Rozdanie robót na tę budowę poprzedziły bardzo szczegółowe badania nad wyborem systemu przeniesienia energii. Był to czas, kiedy system Thury — przenoszenia energii za pomocą prądu stałego o wysokim napięciu i stałym natężeniu — odbył już próbę ogniową na kilku większych instalacjach i wyniki wypadły nadspodziewanie pomyślnie. Wzięto więc pod uwagę i ten system, zwłaszcza, że nadawał się on tutaj z tego względu, że chodziło o przeniesienie energii z jednego miejsca na jedno miejsce

i tam dopiero o rozprowadzenie po mieście, a do takich warunków nadaje się szczególnie ten system. Projekt inżynierów miejskiej elektrowni wykazywał nie tylko pod względem bezpieczeństwa ruchu ale i co do kosztów przewagę prądu stałego nad trójfazowym. Ze względów na ciekawe obliczenia i wyniki warto przytoczyć zestawienie obu kosztorysów według dat, udzielonych mi uprzejmie przez elektrownię w Zurychu.

Prąd trójfazowy.

Jako napięcie obrano 40000 V na końcu przeniesienia t. j. w Zurychu, gdzie prąd ma być częściowo transformowany na 6000 V do zasilania sieci siły, a częściowo przetwarzany na 2000 V prądu jednofazowego dla oświetlenia; elektrownia w Letten ma służyć jako rezerwa. Linii przewodzących prąd ma być 4; wtedy przy 40000 V i $\cos \varphi = 0.8$ wypada na każdy przewód 53 A; przyjąwszy przekrój przewodów 50 m^2 i długość przeniesienia 136 km musi centrala dawać 46000 V. Prąd wytwarzać ma 12 generatorów poruszanych turbinami wodnymi o 2000 KP. Napięcie generatorów 6900 V. Przewody podzielone na dwa szeregi słupów żelazno — betonowych. Strata mocy 13.8%.

Prąd stały.

Prąd wytwarza 11 grup wodno — elektrycznych, z tych dwie jako rezerwa. Przy stałym natężeniu 175 A wypada napięcie 79500 V; przez uziemienie w połowie dostanie się max. 497500 V napięcia do ziemi, co odpowiada skutecznemu napięciu 28000 V prądu przemiennego. Jednak i to napięcie występuje tylko w razie największego obciążenia; jest to znaczna korzyść wobec prądu trójfazowego. Przy 9 grupach czynnych wypada na jedną 2250 KP czyli 1540 KW; dla wytworzenia więc 175 A każda grupa ma dawać 8800 V.

Każda grupa składa się z turbiny i dwóch dynamomaszyn o dwóch kolektorach każda, tak, że na każdy kolektor przypada tylko 2200 V, co nie przedstawia wielkich trudności przy wykonaniu. Przewody, poprowadzone są na dwóch szeregach słupów — każdy bieg na jednym szeregu; przekrój przewodów 72 m^2 . Spadek napięcia wynosi 11600 V, a strata mocy 2000 KW, czyli 14.6%. Ażeby móc przyłączyć się do istniejących urządzeń elektrycznych w Zurychu, należy prąd stały przetworzyć w podstacjach na trój- i jednofazowy.

Kosztorys obu systemów, ułożony na podstawie ofert różnych firm, jest następujący:

Część hydrauliczna (dla obu systemów jednakowa).

Odszkodowania	647 000— fr.
Jaz	685 578·25 „
Ujęcie bocznego potoku	41 090·70 „
Tunel wodny	1 952 826·70 „
Zbiornik ciśnący	21 139·50 „
Rurociąg	495 070·45 „
Kanał odpływowy	11 350— „
Droga dojazdowa	29 533·10 „
Kierown. budowy i różne	200 411·30 „
	<hr/>
	4 354 000— fr.

Część elektryczna:

	Trójprąd	Prąd stały
Turbiny	400 220 fr.	399 030 fr.
Generatory i rozdzieln.	866 820 „	966 220 „
Budynek	347 400 „	299 140 „
Przeniesienie energii	3 740 000 „	1 780 000 „
Stacje kontrolne	321 000 „	130 000 „
Telegraf	51 000 „	52 000 „
Stacje przewornic	— „	1 536 875 „
Kierownictwo i różne	441 960 „	406 785 „
Razem	<hr/> 6 170 000 fr.	<hr/> 5 500 000 fr.

Rachunek rentowności.

Koszta zakładowe:

Część hydrauliczna	4 354 000 fr.	4 354 000 fr.
„ elektryczna	6 170 000 „	5 550 000 „
Razem	<hr/> 10 524 000 fr.	<hr/> 9 854 000 fr.

Wydatki roczne:

Oprocentowanie i amortyzacja	679 000 fr.	595 000 fr.
Personal	88 000 „	95 000 „
Utrzymanie	225 000 „	155 000 „
Podatki, asekuracja i t. p.	58 000 „	55 000 „
Razem	<hr/> 1 050 000 fr.	<hr/> 900 000 fr.

stałym o 10% mniejsze niż przy trójprądzie.

Na podstawie takich obliczeń i przy wzięciu pod uwagę korzyści prądu stałego nad przemianym jak: mniej skomplikowana rozdzielnica, brak zjawisk samoindukcji i pojemności, prostsza obsługa, mniejsze niebezpieczeństwo zwarcia z powodu oddzielnego prowadzenia obu biegunów i t. p. oświadczyli się inżynierowie za prądem stałym jako podstawą do przenoszenia energii.

Była to propozycja bardzo śmiała ze względu, że na podobnie wielką skalę istnieje tylko jedno urządzenie tego systemu: przeniesienie energii z Moutiers do Lyonu na odległość 175 km, pod napięciem 59 000 V*). Z tego też zapewne względu miasto nie zgodziło się na ich projekt, tylko poszło za radą dyrektora elektrowni miejskiej Wagnera, który ponadto w projekcie swym wykazał, że jednak opłaca się raczej zastosować prąd trójfazowy.

Za podstawę rachunku rentowności przyjął on nie moc jaką może dać centrala i jaka może być dostarczona do Zurychu lecz energię zużytą w Zurychu. Ponieważ zapotrzebowanie energii w różnych porach dnia i roku nie jest jednakowe, przeto i moc jaką przenoszą w pewnej chwili przewody nie jest zawsze ta sama, lecz się zmienia stosownie do obciążenia. Jakież to ma wpływ na straty w przewodach? Te zależą jak wiadomo od kwadratu natężenia prądu. Przy stałym więc prądzie o stałym natężeniu straty te będą zawsze jednakowe, zmieniać się będzie tylko napięcie stosownie do zapotrzebowania energii. Przeciwnie przy prądzie przemiennym, gdzie tylko podczas największego zapotrzebowania energii będzie płynął największy prąd i wtedy straty będą miały największą wartość.

Jak to ma doniosły wpływ widać z wykresu fig. 2. Obliczone tam jest zużycie energii (1) sto-

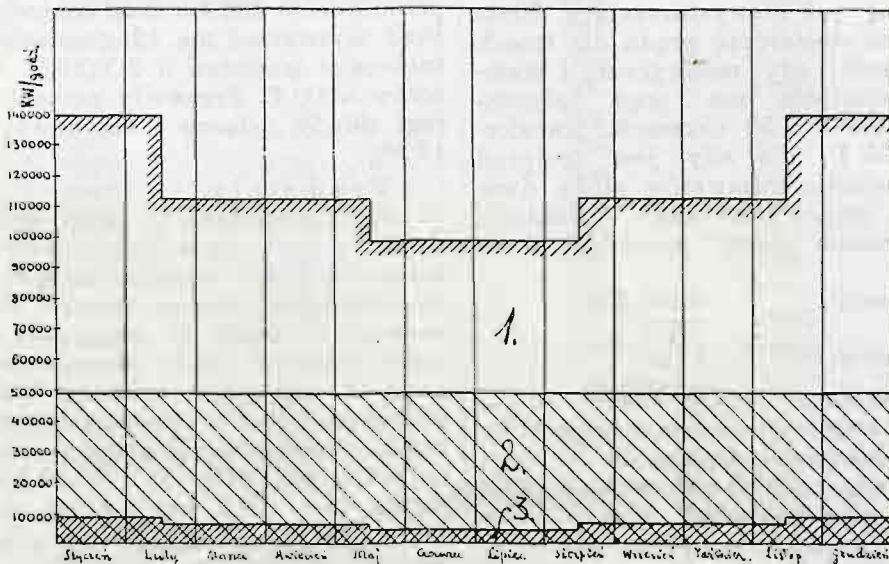


Fig. 2.

Przyjąwszy następujący rozdział energii

Na wale turbin	20 000 KP	20 250 KP
Na szynach zbiorczych	14 000 KW	13 900 KW
Straty	2 200 „	2 800 „
czyli zostaje w Zurychu do dyspozycji	<hr/> 11 800 KW	<hr/> 11 100 KW

to zn., że na konia i rok wypada 89 fr.

81 fr.

czyli, że koszt 1 KP/rok są przy prądzie

sownie do pory roku, przyczem uwzględnione tam są także zmiany zachodzące w ciągu dnia. Widać stąd, że straty energii w ciągu całego roku wynoszą przy prądzie przemiennym (3) 2 400 000 KW/godz. a przy stałym (2) 17 300 000 KW/godz. a więc przeszło 7 razy więcej t. j. przez dzień stale 47 000 KW/godz., co odpowiada 16 160 m³ wody. Licząc podczas niskiego stanu (grudzień —

*) p. Czasop. Techn. 1908.

luty) po $5 m^3$ /sek. dostaniemy za 1 dzień $432\,000 m^3$ do rozporządzenia; czyli że na pokrycie samych do strat idzie więcej niż $\frac{1}{3}$ część wody będącej do dyspozycji. Tak więc straty energii przy prądzie stałym wynoszą o $14\,900\,000 KW$ /godz. więcej niż przy trójfazowym. Licząc koszt $7 KW$ /godz. sprzedanej tylko 1 cts. dostaniemy $149\,000$ fr. straconych rocznie, co przedstawia przy 3% amortyzacji i 4% oprocentowaniu kapitał $2\,130\,000$ fr., o tyle więc należy podnieść kosztów zakładowe przy prądzie stałym.

Kosztorys Wagnera różni się także nieco od poprzedniego, gdyż dostaje on kosztów przy prądzie stałym o $916\,000$ fr. mniejsze (podczas gdy inżynierowie obliczyli tylko $670\,000$ fr.). Uwzględniający jednak straty energii w sposób wyżej podany otrzymał przewyżkę prądu stałego nad trójfazowym $1\,214\,000$ fr.

W rezultacie miasto obrało prąd przemienny a wykonanie robot powierzono firmom: Froté et Westermann w Zurychu (roboty wodne), Escher, Wyss (turbiny), Örlikon (generatory i rozdzielnica) i Brown, Boveri (transformatory).

Opis centrali.

Ujęcie wody znajduje się między stacyami kolei albulańskiej Tiefenkastel i Solis. Rzeka Albula, która płynie tam głębokim jarem — t. zw. Schyns Schlucht — została spiętrzona za pomocą jazu (fig 3. i 4.) o dwu otworach po

ciśnieniem średnio $20 m$ słupa wody, co wymagało szczególnej staranności przy budowie. W twardej skale (dolomity) bito od razu cały profil, w miękkiej (łupek krystaliczny) wiercono naprzód tunel kie-



Fig. 4.

rowniczy; koszty wiercenia były w pewnym przypadku mniejsze, a robota postępowała prędzej. Ściany tunelu, w dolomicie $15 cm$ grube, a w łupku $25 cm$ są wyprawione cementem (1:3) na $2 cm$ grubo. Mimo, że chyżość wody obrano znaczną bo $22 m$, nie zauważono wcale uszkodzeń. Wielkie trudności sprawiało obmurowanie sklepienia tunelu, gdyż betonu nie można było ubijać. Znalezione też po skończeniu przez wypukliwanie,



Fig. 3.

$8 \times 15 m$ i przepuszczenie $15 \times 14 m$. Wskutek spiętrzania powstaje zbiornik o pojemności $420\,000 m^3$. Zasuwy podnoszone są ręcznie, a w przyszłości za pomocą wyciągów elektrycznych; jako przeciwwaga służy belka żelazno-betonowa $50\,000 kg$.

Ruchomy jaz o tej wysokości ($16 m$) zastosowany został tutaj po raz pierwszy. Ujęta woda odprowadzona dwoma otworami jest wprost do tunelu (fig. 3.) otwartego, bez zbiornika osadowego, którego nie można było tu zastosować, z powodu bardzo wąskiego koryta i stromych skał, lecz umieszczono go już w tunelu; tworzą go dwie komory, które potem łączą się w jeden tunel. W razie czyszczenia można jedną komorę zamknąć i jednej tylko używać. Wejścia do komór są opatrzone zasuwami i kratami.

Tunel $3.1 m$ szeroki, i 2.85 wysoki, o przekroju $7.35 m^2$ i długości przeszło $7 km$ znajduje się — po raz pierwszy dla tak ej długości — stale pod

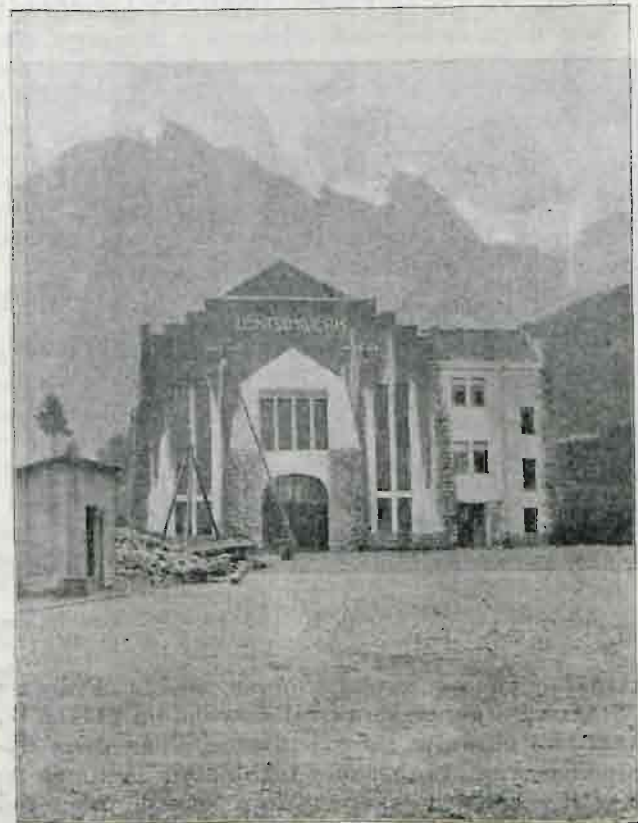


Fig. 5.

że beton nie przylega szczelnie do skały. W te miejsca wtłaczano więc beton płynny i w ten sposób uszczelniono tunel.

Z tunelu woda dostaje się do zbiornika ciśnającego ok. 30 m wysokiego a 11—13 m średnicy, a stąd dwiema rurami o średnicy 2 m w górnej części a 1.80 m w dolnej do maszynowni 63 m długiej i 13 m szerokiej (fig. 5. i 6.). Przed samą

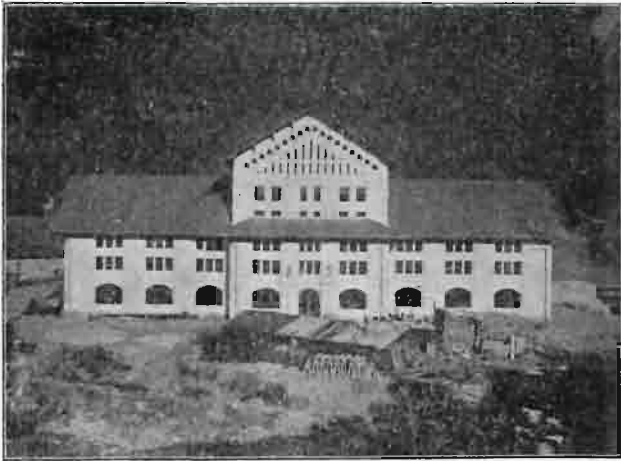


Fig. 6.

maszynownią rurociąg przekracza rzekę nie po moście, lecz trzymając się własną sztywnością; ściany rur są w tym celu grubsze i wynoszą 24 m/m.

Spadek uzyskany w ten sposób wynosi 142 m a ilość wody 16.75 m³/sek., co przedstawia moc ok. 24 000 V.

Centrala leży niedaleko stacyi Sils koło Thuisis. Też urządzenie wewnętrzne odbiega nieco od ogólnego projektu inżynierów miejskich. Znajduje się tam 8 grup wodno - elektrycznych (fig. 7.)

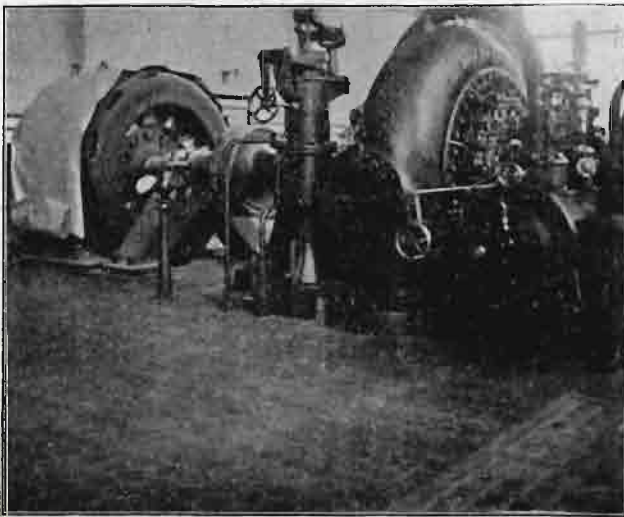


Fig. 7.

składających się z podwójnych turbin Francisa o 3 000 KP i generatora trójfazowego na 2 000 KW, 7 000 i 50 okresów. Do wzbudzenia służą dwie dynamomaszyny poruszane turbinami Peltona po 200 KW. Każdy z generatorów może pracować oddzielnie od innych przez transformator na szyny zbiorcze 46 000 V; szyn dla niskiego napięcia niema. Urządzenie rozdzielniczy odpowiada wszelkim nowoczesnym wymogom techniki. Ze względu na wysokie napięcie zastosowany jest system komórkowy; przedziałki jak i cała wewnętrzna budowa jest z żelazo-betonu.

Nowoczesna zasada decentralizacji ruchu a centralizacji kontroli przeprowadzona jest bardzo konsekwentnie. Do każdego generatora należy tablica rozdzielcza, umieszczona naprzeciw niego w murze. Zawiera ona automatyczny wyłącznik, transformator miernicze i miernik watgodzin. Same zaś przyrządy miernicze, lampki fazowe i kontakty do załączania i wyłączania generatorów znajdują się na głównej tablicy rozdzielczej, umieszczonej na wysokości jednego piętra. Przyrządy na niej są tylko pod niskim napięciem; transformowanie wysokiego napięcia odbywa się właśnie na owych tablicach rozdzielczych dla każdego generatora.

Z tablicy rozdzielczej, należącej do każdego generatora, idzie prąd do transformatora, chłodzonego oliwą, na 2 000 KW, zwiększającego napięcie do 46 000 V. Transformatory są po obu stronach opatrzone wyłącznikami oliwnymi, automatycznymi, zbudowanymi jako wyłączniki rurkowe według znanego systemu örlikonskiego. (fig. 8.) Kontakt ruchomy wyłącznika jest wcią-

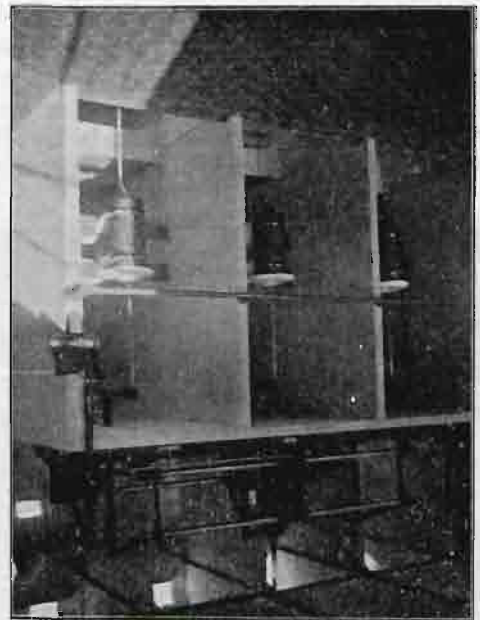


Fig. 8.

gany po przerwaniu prądu do rurki porcelanowej; przez prąd powietrza wzgl. oliwy, wdzierającej się do rurki, gaśnie iskra i nie dopuszcza do utworzenia się łuku świetlnego.

Prąd wysoko napięty idzie do szyn zbiorczych, okrężnych, umieszczonych na osobnym pię-

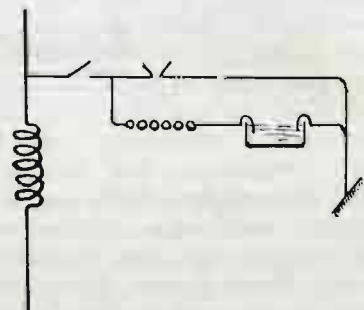


Fig. 9.

trze. Urządzone są one tak, że część należąca do jednego generatora, można odłączać za pomocą wyłączników nożowych. W następnym piętrze

umieszczone są transformatorki miernicze dla wysokiego napięcia; jeszcze wyżej wyłączniki oliwowe ręczne, podobne do automatycznych, wyżej opisanych i wreszcie na najwyższym piętrze znajdują się ochronniki i linie odchodzące. Ochronniki są dwójakiego rodzaju (fig. 9.) dla wyłado-

wań statycznych — cewki dławikowe i opory z wody tryskającej, a dla oscylacyjnych — rurki Siemens'a z oporami wodnymi do nich równoległymi i drugie różki z oporami wodnymi załączonymi w szereg.

(D. c. n.).

O zapotrzebowaniu energii instrumentów mierniczych dla prądów przemiennych¹⁾.

Napisał Dr. Inż. Jan Studniarski, Altona (Elbe).

Pomijając zwykle bardzo znaczne błędy ściśle logicznej treści, powstające wskutek zasadniczo fałszywego założenia eksperymentu albo wskutek fałszywej interpretacji rezultatów mierniczych, samych w sobie bezbłędnych, pomijając nadal błędy, mające swe źródło w samym przedmiocie mierniczym wskutek zmiany jego stanu, między błędami, które tylko przez instrumenty miernicze powstają, trzy kategorie różnić można, a mianowicie błędy, których źródła wypada szukać w obserwacji, w otoczeniu i w systemie instrumentów.

Badanie błędów przypadkowych, wchodzących do rezultatu pomiaru wskutek niedokładności obserwacji, zasadniczo nie nastrocza nowych poglądów; stwierdzić je można w mierzeniach prądów przemiennych stosownie jak w innych pomiarach na mocy ogólnych zasad praktycznej fizyki. Wpływ ich na wynik pomiaru może być atoli bardzo znaczny, mianowicie przy zastosowaniu metod mierniczych, w których rezultat wpływa z funkcji trygonometrycznych jak np. przy oznaczeniu kąta fazowego z jego dostawy lub wstawy albo w mierzeniu współczynnika samowzniesienia z pomiaru prądu, napięcia i mocy. Analiza błędów, których źródło znajduje się w otoczeniu, zatem w zewnętrznych wpływach, nastrocza jakościowo te same poglądy wobec aparatów mierniczych dla prądów przemiennych, jak wobec instrumentów dla prądu stałego. Źródła błędów tego rodzaju powstają zwykle wskutek wpływów grawitacji, zewnętrznych pól magnetycznych, zmiany temperatury, elektrostatycznych ładunków itd. Znamiennymi dla każdego instrumentu są błędy, wynikające z jego zasady, budowy i konstrukcji, czyli jednym słowem z jego systemu; błędy tej kategorii oznaczyć można jako błędy systematyczne. Nie jest atoli wykluczone, że niektóre błędy systematyczne wspólne być mogą dla rozmaitych instrumentów różnego systemu jak np. błędy, spowodowane wskutek niedokładności skali lub zmiennej elastyczności sprężyny, nadającej siłę dyrekcyjną.

Gdy różnica między błędami przypadkowymi i systematycznymi jest ścisłą i w skutkach o tyle jasno występującą, o ile błędy systematyczne pażą poszczególne odczytania dodatnio lub ujemnie w jednym jedynie kierunku, błędy obserwacji zaś powodują za małe albo za wielkie wyniki odczytania skali, granica między błędami systematycznymi i błędami, powstającymi na podstawie zewnętrznych warunków nie zawsze jest ściśle oznaczoną. Rozstrzygające znamię dla tych dwóch ostatnich kategorii błędów stanowi okoliczność, czy warunki, wywołujące błąd systematyczny w obszerniejszem tego słowa znaczeniu, wynikają z zasady pomiaru na podstawie wewnętrznego,

bezpośredniego lub pośredniego rzeczowego związku, albo czy warunki powyższe są skutkiem wpływów, pochodzących od ciał obcych, stojących poza obrębem właściwego urządzenia doświadczalnego. Temperaturę, tem samem opór cewki w instrumencie mierniczym zmienić mogą promienie sąsiedniego źródła ciepła albo sam prąd mierniczy, konieczny do wywołania odchylenia; cewkę przecinać mogą linie sił magnetycznego pola ziemi albo linie sił prądów wirowych, wznieconych przez prąd mierniczy w masywnych częściach konstruktywnych instrumentu; w drugim przypadku zachodzi błąd systematyczny, w pierwszym zaś błąd otoczenia.

Stosownie do różnolitej treści powyżej wymienionych trzech kategorii błędów odmienne jest ich usunięcie lub uwzględnienie. Subtelnością i liczbą obserwacji, rachunkiem błędów i prawdopodobieństwem, graficzną interpolacją, wyborem najkorzystniejszych warunków doświadczenia utrzymać można błędy przypadkowe w dozwolonych granicach. Błędy systematyczne eliminuje się zapomocą współczynników albo poprawek, przy czem wyborem warunków doświadczalnych kierować powinno staranie, ażeby poprawki, ilością i wielkością, osiągnęły o ile możności swe minimum. Błędy, wynikające z wpływów zewnętrznych, można zmianą urządzenia doświadczalnego zupełnie usunąć albo — jeżeli to nie jest możliwe — podobnie jak błąd systematyczny zapomocą poprawki uwzględnić.

Nie jest zadaniem obecnej pracy, rozwinąć wyczerpujące badanie błędów i źródeł błędów w instrumentach dla prądów przemiennych, gdyż na podstawie ogólnych, zbiorowych poglądów analiza taka ogarnęłaby błędy i źródła błędów nieomal całej techniki pomiarów elektrycznych. Praca obecna ograniczy się na analizie jednego tylko co prawda najważniejszego źródła błędów w instrumentach dla prądów przemiennych tj. ich własnego zapotrzebowania energii, a mianowicie na podstawie przedstawienia graficznego, pozwalającego przejrzeć w granicach całego zakresu mierzenia odsetne błędy, powstające wskutek zużycia energii w instrumentach, względnie odnośne konieczne korekcyje wobec różnych warunków doświadczalnych, tz. przy zmianie prądu, napięcia i fazy.

Wskutek faktu, że prąd i napięcie niekoniecznie równą mają fazę, wyodrębniają się wobec pomiarów prądów silnych stałego kierunku mierzenia prądów przemiennych znamienne okolicznością, że nie wystarcza mierzenie prądu i napięcia, lecz koniecznym jest osobny pomiar efektu zapomocą watmetru; dlatego instrument ten będzie zaraz na wstępie uwzględniony.

¹⁾ cf. *Elektrotechnische Zeitschrift* 1909, p. 821.