

W I A D O M O Ś C I ELEKTROTECHNICZNE

C Z A S O P I S M O D L A E L E K T R Y K Ó W - P R A K T Y K Ó W

Redaktor inż. el. Ignacy Baran

*

Warszawa, Czackiego 3/5

R O K X

C Z E R W I E C 1950

Z E S Z Y T 6

TREŚĆ ZESZYTU: 1. BEZPIECZEŃSTWO PRACY PRZY UŻYTKOWANIU PRZENOŚNYCH NARZĘDZI ELEKTRYCZNYCH. 2. NAPRAWA MIEDZIAWYCH PROSTOWNIKÓW STYKOWYCH. 3. SILNIK ASYNCHRONICZNY ZE SZCZELINĄ POWIETRZNĄ PROMIENIOWĄ. 4. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE. 5. PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI. 6. NOWINY ELEKTROTECHNICZNE. 7. SKRZYŃKA TECHNICZA. 8. WYDAWNICTWA.

Bezpieczeństwo pracy przy użytkowaniu przenośnych narzędzi elektrycznych

Inż. Zb. Karasiński

Dążenie do automatyzacji pracy w celu zmniejszenia wysiłku fizycznego robotnika prowadzi także do coraz powszechniejszego zastosowania przenośnych narzędzi elektrycznych.

Znamy wszyscy takie narzędzia z napędem elektrycznym jak wiertarki, piły, aparaty do ostrzenia i polerowania, młotki automatyczne, pistolety do metalizowania, nożyce automatyczne i wiele innych równie użytecznych dla ułatwienia pracy, polepszenia jej wydajności i jakości.

Niestety, pomimo przepisów i instrukcji, przenośne narzędzia elektryczne nie są w wielu zakładach należycie zabezpieczane i konserwowane, co powoduje nadal liczne wypadki porażeń elektrycznych, nawet śmiertelnych.

Świadczy to, że zasadnicze wskazania nie przeniknęły jeszcze dostatecznie ani do robotników, posługujących się elektrycznymi narzędziami, ani też do elektryków, których obowiązkiem jest robotników tych pouczyć.

Najczęściej zdarzają się wypadki następującego typu: w narzędziu następuje przebicie do korpusu; często też żyła przewodu doprowadzającego prąd bądź wskutek uszkodzenia izolacji, bądź też wskutek wadliwego przyłączenia, styka się z korpusem (obudowa) narzędzia. Obudowa znajduje się wobec tego pod napięciem i jeżeli robotnik trzymający narzędzie (np. wiertarkę) stanie na gołej ziemi lub na przewodzącej posadzce, prąd przejdzie przez niego od obudowy narzędzia do ziemi, co powoduje porażenie elektryczne, nierzadko śmiertelne. Taki sam wypadek nastąpi, jeżeli robotnik stoi na posadzce izolującej, lecz trzymając w ręku narzędzie dotyka równocześnie m a s y m e t a l o w e j,

mającej połączenie z ziemią (na przykład rury wodociągowej, kaloryfera, konstrukcji stalowej itp.). Prąd przejdzie wówczas od obudowy narzędzia przez ciało robotnika do masy metalowej, połączonej z ziemią.

Trzeba zwrócić uwagę na to, że chociaż narzędzia elektryczne są wykonywane starannie i w nieuszkodzonym stanie zapewniają bezpieczeństwo obsługi, to jednak z możliwością uszkodzenia w ruchu trzeba się zawsze liczyć i dlatego konieczne są dodatkowe zabezpieczenia, których opis i sposoby działania omówimy poniżej. Trzeba też mieć na uwadze, że przewody doprowadzające prąd do narzędzia są szczególnie narażone na zużycie i uszkodzenie.

Z tych przyczyn wydane przez SEP przepisy PNE — 10 (*Budowy i ruchu urządzeń elektrycznych*) nakazują, aby ręczne narzędzia elektryczne były uziemione bez względu na rodzaj pomieszczenia, w którym odbywa się praca; a więc nawet w pomieszczeniach suchych i izolowanych od ziemi, a to z uwagi na opisaną powyżej możliwość stykania się robotnika z masą metalową, mającą połączenie z ziemią.

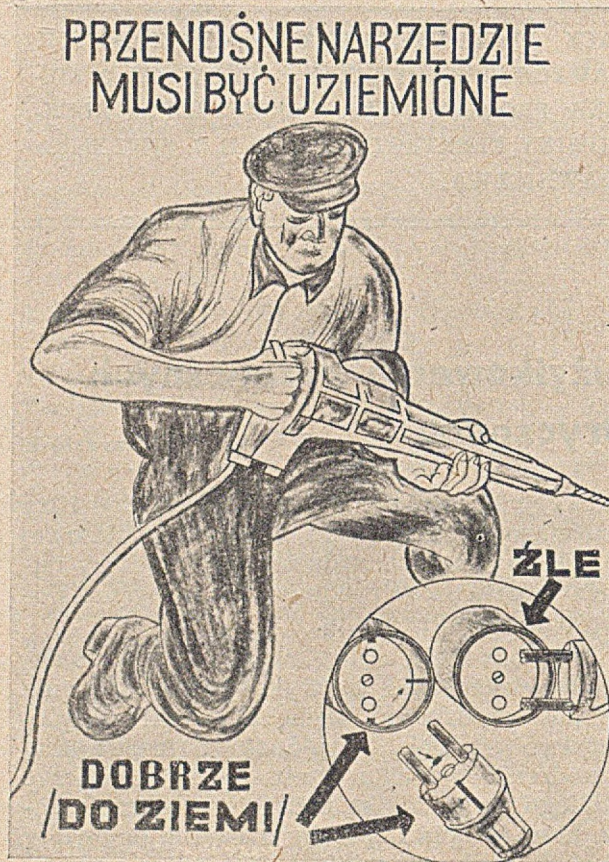
Stosowane są dwa sposoby uziemiania narzędzi elektrycznych:

1. W przewodzie oponowym znajduje się dodatkowa żyła, której jeden koniec łączy się z zaciskiem obudowy narzędzia. Drugi koniec dodatkowej żyły przyłącza się do specjalnego kontaktu uziemiającego wtyczki. Oczywiście wtyczka musi być specjalna, to jest posiadająca ten dodatkowy kontakt uziemiający.

Gniazdko również musi być odpowiedniego typu (tak na przykład jak pokazano na rys. 1), to jest w gniazdku musi być także kontakt uzie-

niający, połączony z przewodem uziemiającym, prowadzącym do uziemiacza zakopanego w ziemi.

Jest to bardzo dobry sposób uziemiania narzędzia, ponieważ robotnik wkładając wtyczkę do gniazdka u z i e m i a równocześnie przez to obudowę narzędzia, nie potrzebuje więc o uziemieniu myśleć i nie może popełnić omyłki przez nieuwagę lub zapomnienie. Elektryk powinien jednak pamiętać, że taki sposób zabezpieczenia jest skuteczny tylko wówczas, kiedy są spełnione następujące warunki:



Rys. 1 przedstawia sposób uziemienia obudowy wiertarki za pomocą uziemionego gniazdka, specjalnej wtyczki i dodatkowej żyły w przewodzie oponowym, doprowadzającym prąd do wiertarki.

a) uziemienie ma *mały opór* (zgodny z przepisami) i okresowo kontrolowany;

b) przewód uziemiający, łączący uziemiacz z gniazdkiem, *nie jest przerywany*, co się niekiedy zdarza, a wówczas połączenie z uziemiaczem nie istnieje i uziemienie nie działa;

c) połączenie przewodu uziemiającego z gniazdkiem *dobrze wykonane*, to jest należyty styk z kontaktem uziemiającym znajdującym się w gniazdku;

d) wtyczka przewodu oponowego narzędzia—*właściwa*, to jest zaopatrzona w kontakt uziemiający, pasujący do gniazdka. Wtyczka taka, nie powinna pasować do gniazdek zwykłych, nie mających kontaktu uziemiającego.

Na te szczegóły trzeba zwracać uwagę, gdyż zdarza się dość często, że robotnik chcąc dla wygody dołączyć narzędzie do zwykłego gniazdka,

które znajduje się bliżej jego miejsca pracy, *zmienia wtyczkę specjalną na wtyczkę zwykłą* i naraża się na niebezpieczeństwo porażenia, z którego nie zdaje sobie sprawy. Nawet elektrycy niekiedy zmieniają uszkodzoną specjalną wtyczkę z dodatkowym kontaktem uziemiającym na zwykłą, gdy takiej zapasowej specjalnej wtyczki nie ma pod ręką. Jest to oczywiście karygodna lekkomyślność;

e) połączenie dodatkowej żyły z wtyczką i z zaciskiem uziemiającym narzędzia powinno być *staranne, zabezpieczone od rozluźnienia się i sprawdzane okresowo*. Zanotowaliśmy kilka ciężkich porażań, spowodowanych nieprzestrzeganiem tego zalecenia.

Trzeba też zwrócić baczną uwagę przy wymianie przewodu, aby żyła dodatkowa była istotnie połączona z zaciskami uziemiającymi, a nie z prądowymi, bo o omyłkę łatwo, a następstwa takiej omyłki mogą być groźne;

f) ponieważ przewód oponowy przy przenoszeniu i użyciu narzędzia jest narażony na uszkodzenia, trzeba *sprawdzać stan przewodu przez oględziny zewnętrzne* przed każdym oddaniem narzędzia do użytku. Jest zupełnie zrozumiałe, że zerwanie żyły dodatkowej powoduje zupełną nieskuteczność uziemienia; jest to tym bardziej niebezpieczne, że robotnik będąc pewny zabezpieczenia staje się mniej ostrożny podczas pracy;

g) przy gniazdku powinny być *bezpieczniki na prąd znamionowy narzędzia*. Bezpieczniki te (tak zresztą, jak wszystkie inne) nie mogą być prowizorycznie naprawiane, co jeszcze niestety się zdarza wskutek niezrozumienia ze strony niektórych monterów. Jest to warunek wynikający również z zasady skutecznego działania uziemień: jeżeli prąd przepływający przez uziemienie staje się tak duży, że powoduje niebezpieczne napięcie dotyku na uziemionej części, bezpieczniki powinny się przepalić. *)

2. Drugim sposobem uziemiania elektrycznego narzędzi jest *połączenie śruby uziemiającej, znajdującej się na zewnętrznej stronie obudowy narzędzia z jakąkolwiek uziemioną masą metalową, znajdującą się w pobliżu przy pomocy osobnego przewodu, jak pokazano na rys. 2.*

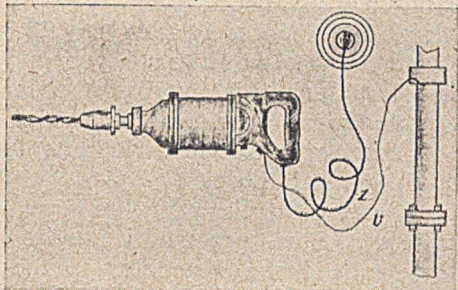
Lepiej uziemić narzędzie w ten sposób, niż nie uziemić go wcale; przyjrzyjmy się jednak, jakie ujemne cechy ma ten sposób uziemienia, byśmy jak najskuteczniej takie uziemienie potrafili wykonać:

a) osobny przewód do uziemienia może *przeszkadzać* robotnikowi w posługiwaniu się narzędziem. Powinien więc być tak poprowadzony, aby tego uniknąć;

*) U w a g a: Bezpieczniki takie, zawsze pożądane, nie są konieczne, jeżeli do tego samego uziemienia są dołączone urządzenia o wyższym prądzie znamionowym niż nasze narzędzia, a na linii zasilającej narzędzie są dalej umieszczane bezpieczniki, odpowiadające temu wyższemu prądowi. Uwaga ta jest słuszna, jeżeli uziemienie jest prawidłowo obliczone i zainstalowane.

b) osobny przewód uziemiający może łatwo ulec zerwaniu lub odłączeniu od masy metalowej, z którą go połączyliśmy, zwłaszcza przez osoby przechodzące obok robotnika posługującego się narzędziem;

c) uziemienie to wykonuje czasem *nie elektryk lecz robotnik*, któremu narzędzie dano do



Rys. 2 przedstawia sposób uziemienia obudowy wiertarki za pomocą oddzielnego przewodu łączącego obudowę z rurą wodociągową; U — przewód uziemiający; Z — przewód zasilający.

użytku. Trudno wymagać, żeby robotnik ten zdawał sobie sprawę jak uziemienie funkcjonuje należycie. Dlatego często robotnik dla uproszczenia w ogóle uziemienia takiego nie załącza, bądź też wykonuje je niestaranie. Wiemy, że niedbale wykonany styk może mieć dość duży opór, który w tym przypadku zwiększy opór uziemienia i zmniejszy skuteczność działania tego zabezpieczenia;

d) robotnik *nie wie*, do których mas metalowych, znajdujących się w pobliżu miejsca pracy należy przyłączyć przewód uziemiający narzędzia, więc przyłącza go przeważnie do byle jakiej pobliskiej konstrukcji metalowej, uważając, że w ten sposób należycie się zabezpieczył.

Opór uziemienia takiej konstrukcji metalowej jest często tak duży, że uziemienie w ogóle nie będzie zabezpieczać. Dla przykładu można podać, że jeżeli przewód uziemiający połączyliśmy z rurą centralnego ogrzewania, opór uziemienia wyniesie przeważnie setki omów. Najlepiej przyłączać narzędzie do głównego przewodu uziemiającego, który służy do uziemienia stałych urządzeń elektrycznych. Często jednak się zdarza, że przewód ten w pobliżu nie przechodzi. Wówczas należy połączyć narzędzie z najbliższą rurą wodociągową, gdyż opór sieci wodociągowej jest przeważnie bardzo mały.

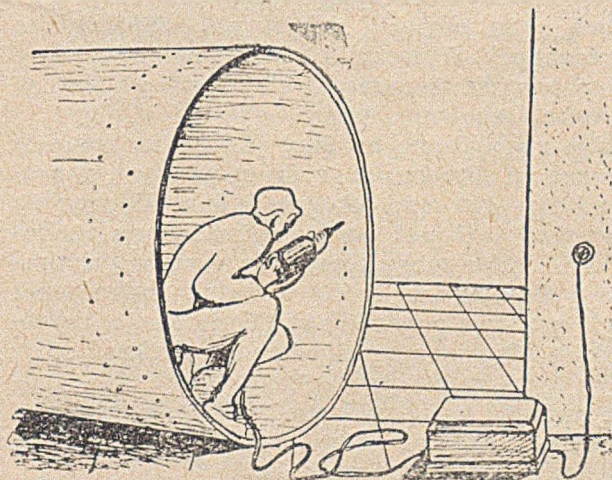
Lecz i w tym przypadku trzeba pamiętać, że sieć wodociągowa jest dobrym uziemieniem tylko wtedy, jeżeli wodomierz jest bocznikowany, to jest sieć wodociągowa wewnętrzna ma połączenie bezpośrednie z rurociągiem znajdującym się w ziemi, gdyż wodomierz izoluje od siebie te dwie części sieci wodociągowej. Ponadto rurociąg w ziemi musi być metalowy, a nie z materiału izolacyjnego i złącza nie powinny izolować elektrycznie poszczególnych odcinków rurociągu.

Z tego krótkiego przeglądu widzimy, że ten drugi sposób uziemiania narzędzi następcza poważne trudności praktyczne. Najważniejszym wskazaniem jest w tym przypadku łączenie na-

rzędzia bądź z głównym przewodem uziemiającym, bądź też z rurą wodociągową. Uziemienie przez połączenie z jakąkolwiek inną masą metalową o nieznanym oporze w stosunku do ziemi, powinno być zabronione, co jeszcze raz podkreślamy, uważając to zalecenie za szczególnie ważne.

Przepisy PNE-10 zabraniają wyraznie uziemienia przez przyłączenie do rur gazowych. Innym sposobem, znacznie lepiej zapewniającym bezpieczeństwo obsługi narzędzi elektrycznych, jest zasilanie tych narzędzi tak niskim napięciem, które dla robotnika nie byłoby niebezpieczne. Przepisy PNE - 10 uważają 42 V za takie napięcie stosunkowo bezpieczne. Dla uzyskania takiego obniżonego napięcia używa się przeważnie tak zwanych „transformatorów bezpieczeństwa”, skonstruowanych według specjalnych wymagań i produkowanych w Polsce (rys. 3). Narzędzie jednak musi być wykonane na to bezpieczne napięcie, co jest praktycznie możliwe tylko wówczas, jeżeli moc narzędzia jest niewielka. Przy większych mocach stosowanie bezpiecznego napięcia prowadziłoby do zbyt wielkich przekrojów uzwojeń i przewodów.

Nie jest jeszcze wiadomo jak sprawę napięcia „bezpiecznego” ujmą nowelizowane obecnie przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych. Jest zdaniem autora możliwe, drogą uziemienia środków uzwojeń wtórnych transformatorów bezpieczeństwa, niekiedy dopuścić podwyższenie napięcia międzyprzewodowego wtórnego i znacznie rozszerzyć zakres stosowania tego dobrego zabezpieczenia, jakim są takie transformatoriki.



Rys. 3 przedstawia robotnika wierzącego otwory w zbiorniku metalowym; wiertarka zasilana jest prądem o napięciu obniżonym z transformatora bezpieczeństwa.

Innym dobrym sposobem zabezpieczenia obsługi jest zerowanie narzędzi przenośnych, to jest łączenie ich obudowy z przewodem zerowym. Wspominamy o tym bez wdawania się w szczegóły, bo sposób ten nie jest jeszcze w Polsce prawnie dopuszczony do czasu ukazania się szczegółowych przepisów zerowania. Zakaz ten jest słuszny, gdyż zerowanie, jeżeli jest nienależycie wykonane, to zamiast być zabezpieczeniem, stwarza tylko dodatkowe źródła

niebezpieczeństwa. Ponadto w przypadku zerowania narzędzi przenośnych, automatyczna kontrola ciągłości przewodu zerowego wyda-



Rys. 4. Robotnik sprawdza stan izolacji przewodu gładkiego, gdyż tego rodzaju przewody są najbardziej narażone na uszkodzenia mechaniczne.

się jeszcze bardziej konieczna niż przy zerowaniu urządzeń stałych, co trochę komplikuje ten sposób zabezpieczenia.

W przyszłości można się spodziewać także wprowadzenia zabezpieczeń narzędzi elektrycznych przy pomocy specjalnych wyłączników ochronnych. Wyłączniki takie jednak, specjalnie dostosowane do narzędzi elektrycznych, nie są jeszcze rozpowszechnione.

Na zakończenie musimy jeszcze raz zwrócić uwagę na sprawę przewodu oponowego, doprowadzającego prąd do narzędzia. Wiemy, że przewód taki jest bardzo narażony na uszkodzenia, które mogą spowodować niebezpieczeństwo dla obsługi. Jeżeli wskutek uszkodzenia żyła prądowa przewodu jest obnażona, to robotnik rozciągający przewód może dotknąć żyły, albo też inny robotnik, przechodzący obok, może nastąpić na uszkodzone miejsce, a jeżeli ma obuwie mokre względnie zużyte, może łatwo nastąpić wypadek porażenia.

Dlatego właśnie zabrania się używania przewodów uszkodzonych, a także prowizorycznego izolowania miejsc uszkodzonych, gdyż taka prowizorka, nawet przez najstarsze owinięcie taśmą izolacyjną uszkodzonego miejsca — nie zapewni należytego bezpieczeństwa.

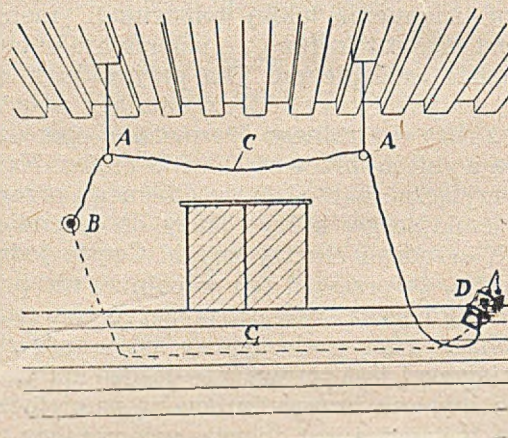
Wynika z tego również, że nie wolno do narzędzi elektrycznych używać zwykłych przewodów w zewnętrznym oplocie bawełnianym, lecz tylko przewodów specjalnych w oponie gumowej.

Aby zmniejszyć możliwość uszkodzenia przewodu, trzeba zwrócić uwagę na to, jak się prze-

wód prowadzi. Przewód należy rozwijać stopniowo i nie ciągnąć go narzędziem. W przejściach przewód trzeba zawiesić na rolkach, a nie prowadzić go na ziemi (patrz rys. 5).

Wnioski:

1. Najlepiej, w miarę możliwości używać narzędzi na „bezpieczne” napięcie (do 42 V), dołączając je do sieci przy pomocy transformatora bezpieczeństwa.
2. Narzędzia na napięcie powyżej 42 V, jeżeli nie są w obudowie całkowicie wykonanej z materiału izolacyjnego, należy koniecznie uziemić. Uziemienie powinno być powierzone specjalistom, świadomemu swojej odpowiedzialności.
3. Należy używać tylko przewodów w oponie gumowej. Stan przewodu powinien być sprawdzany przez oględziny przed użyciem. Prowizoryczne naprawy przewodu są zabronione.
4. Nie wolno zawieszać przewodu na gwoździach lub hakach z ostrymi krawędziami. Nie należy rozciągać na ziemi przewodu w przejściach, zwłaszcza gdy mogą przejeżdżać tamtędy wózki.
5. Należy dbać o to, aby przewód nie stykał się z olejem, z przedmiotami gorącymi lub z substancjami chemicznymi, mogłoby to uszkodzić oponę gumową przewodu.
6. Przewody w oponie gumowej należy przechowywać w miejscu suchym, ciemnym i czystym, nawinięte na przykład na bęben i nie zaciśnięte.
7. Nie wolno używać elektrycznych narzędzi w atmosferze gazów i oparów łatwopalnych.



Rys. 5. A — A — rolki drewniane, na których zawieszono przewód; B — gniazdko wtyczkowe; C — przewód właściwy zawieszony nad przejściem; C₁ — rzucony na podłogę w miejscu przechodzenia; D — ręczne narzędzie (wiertarka).

Trzeba, żeby elektrycy nie tylko sami stosowali zalecenia bezpieczeństwa pracy, ale także pouczyli robotników nie znających elektrotechniki, którym przez to trudniej zrozumieć słuszność tych zaleceń. Dążymy do konstruowania coraz doskonalszych maszyn i narzędzi, ale i obecnie będące w użyciu są bezpieczne, jeżeli się umie nimi należycie posługiwać.

Naprawa miedziawych prostowników stykowych

Inż. A. Bibiło

Wiadomości ogólne.

W wielu dziedzinach techniki stosuje się prostowniki stykowe zarówno miedziawe (kuprytowe), jak również i selenowe. Zadaniem ich jest prostowanie prądu zmiennego na stały dla bardzo różnorodnych celów jak ładowanie akumulatorów, zasilanie urządzeń sygnalizacyjnych, galwanotechnicznych i wielu innych. Prostowniki te pochodzą z różnych okresów produkcji i należyte ich wyzyskanie, konserwacja, a szczególnie naprawa w przypadku ich uszkodzenia, wymaga gruntownej znajomości ich charakterystyk oraz założeń konstrukcyjnych, będących podstawą ich produkcji. Założenia te były różne w różnych latach i zależały od sposobu produkowania głównego elementu prostownika — mianowicie ogniwa prostownika stykowego.

Sposób produkcji miał wpływ na własności ogniwa, zaś konstruktor kompletnego zespołu (czyli inaczej prostownika) dostosowywał całą konstrukcję do tych własności.

Dlatego też przy dokonywaniu napraw należy zawsze zorientować się z jakiego czasu mogą pochodzić naprawiane prostowniki, a szczególnie ogniwa prostowników stykowych. Podane niżej opisy i tablice ułatwią Czytelnikowi w wielu praktycznych przypadkach rozpoznanie i dalsze postępowanie.

Tablice te zostały ułożone przez autora z uwzględnieniem praktycznych potrzeb warsztatowych w oparciu o liczne źródła pochodzące z szeregu lat. Jak wspomniano tablice obejmują ogniwa prostowników stykowych służące do prostowania prądu zmiennego na stały lecz nie obejmują ogniwa prostowników specjalnych, służących do celów pomiarowych, radiotechnicznych, pracujących w obwodach prądu stałego itp. specjalnych układach.

Najbardziej typowe i częste zapytania jakie powstają u dokonywującego naprawy prostowników stykowych lub sprawującego ich konserwację są następujące:

1. Co należy zrobić, gdy część ogniwa w prostowniku uległa uszkodzeniu.

- a) Jak naprawić poszczególne ogniwa.
 - b) Jakie największe napięcie można pobierać z naprawionego prostownika.
 - c) Jakie największe obciążenie może znieść prostownik.
2. Jak dalece można zwiększyć napięcie dla danego prostownika.
 3. Jak powiększyć moc posiadanego prostownika.
 4. Jak przywrócić utracone przez prostownik własności prostowania.

Opisy budowy i zasad działania ogniwa prostowników stykowych podaliśmy w jednym z poprzednich zeszytów „Wiadomości Elektrotechnicznych“ (Zeszyt 12/1949 r.). Obecnie podajemy własności ogniwa prostowników stykowych, znajomość których jest szczególnie potrzebna przy dokonywaniu napraw oraz podczas konserwacji. Zaznaczamy, że w latach ostatnich wyprodukowano szereg nowych typów prostowników stykowych, do budowy których użyto bardzo różnych materiałów, a w szczególności następujących pierwiastków i związków chemicznych boru (B), krzemu (Si)

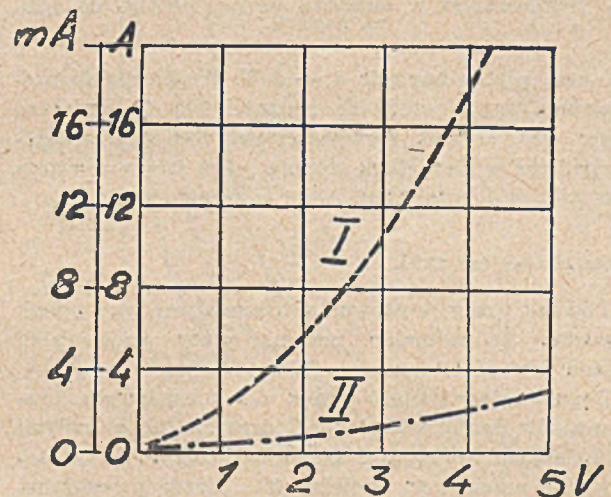
arsenu (As), germanu (Ge), telluru (Te) i siarczku miedzi (Cu_2S).

Ponieważ u nas w eksploatacji znajdują się głównie typy dawniejsze, a mianowicie prostowniki stykowe miedziawe i selenowe ograniczamy się do podania ich własności.

W użyciu są wymienione prostowniki pochodzące z różnych lat, dlatego też podajemy w tablicach ich charakterystyki z uwzględnieniem czasu pochodzenia i informacji co do ich własności. Zanim przejdziemy do omówienia posługiwania się tablicami podajemy definicje poszczególnych charakterystyk dla prostowników miedziawych.

Współczynnik prostowania

Prostownik jest tym lepszy im większy prąd przepuszcza w jednym, im mniejszy w drugim kierunku. Wykres dobrego prostownika przedstawia rys. 1. Wi-



Rys. 1. Krzywa natężenia prądu płynącego przez prostownik w kierunku prostowania (I) i w przeciwnym kierunku (II) w zależności od przyłożonego napięcia. Krzywa I — skala prądu I w amperach; krzywa II — skala prądu II w miliamperach.

dzimy np., że przy 4 V napięcia w kierunku prostowania płynie prąd 16 A (krzywa I), zaś w kierunku przeciwnym (przy zmianie biegunów) natężenie prądu wynosi tylko około 2 mA = 0,002 A (krzywa II) czyli jest około 8000 razy mniejsze. Współczynnik prostowania określa się wzorem:

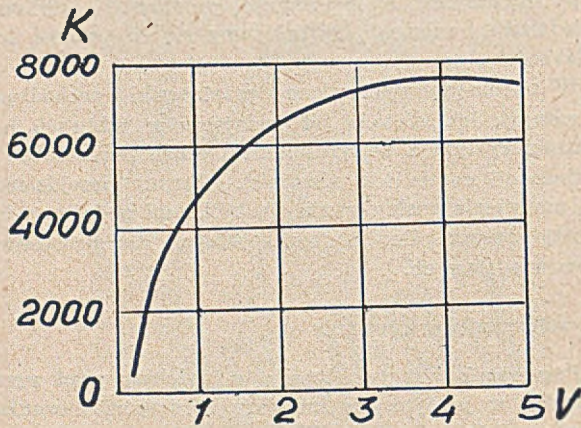
$$K = \frac{I_a}{I_b}$$

gdzie I_a oznacza prąd płynący w kierunku prostowania, zaś I_b — prąd płynący w kierunku przeciwnym, oczywiście przy tym samym napięciu przyłożonym do prostownika tylko w odwrotnym kierunku.

Doświadczalnie stwierdzono, że największą wartość współczynnika prostowania K osiągniemy dając na ogniwo (na jedną parę płytek: ołów — tlenek miedziawy — miedź) napięcie ok. 4 V. Zatem, aby uzyskać prostowanie napięć wyższych łączy się szeregowo odp-

wiednią liczbę par płytek tak, by na każdą parę przypadało około 4 V. Przy tym napięciu współczynnik prostowania K ma wartość ok. 7800 — 8000. Wykres zależności współczynnika prostowania K od napięcia na zaciskach jest przedstawiony na rys. 2.

Niektórzy konstruktorzy zespołów prostujących przyjmują dla zmniejszenia liczby ogniów prostujących,



Rys. 2. Przebieg zmian współczynnika prostowania K ogniwa prostowniczego w zależności od przyłożonego do ogniwa napięcia.

na parę płytek napięcie 8 — 9 V. Współczynnik prostowania spada wtedy do wartości 100. Pogarsza to nieco współczynnik sprawności urządzenia prostowniczego, lecz w niewielkim stopniu, gdyż straty powstają nie tylko w prostowniku, lecz i w transformatorze.

Inne charakterystyki.

Podczas pracy prostownika temperatura jego płytek wzrasta. Za normalne warunki pracy prostownika można uważać temperaturę 55°C.

Dopuszczalna gęstość prądu dla miedziowych prostowników bez przekładek chłodzących lub z małymi przekładkami — wynosi około 0,05 A/cm². Przy stosowaniu przekładek mosiężnych o dużej powierzchni dopuszczalna gęstość prądu wzrasta kilkakrotnie, a przy chłodzeniu olejowym wzrasta jeszcze bardziej.

Istotną sprawą przy określaniu natężenia prądu płynącego przez prostownik jest, by temperatura jego nie przekraczała wartości wyżej podanych.

Dopuszczalny prąd zwykle jest podawany przez firmę produkującą dane urządzenie.

W miarę wzrostu czasu pracy prostownika pogarsza się jego współczynnik prostowania oraz wzrasta oporność. Proces ten nazywa się starzeniem prostownika.

O procesie starzenia się prostownika decyduje temperatura, w jakiej on pracuje; im temperatura jest wyższa, tym prędzej postępuje starzenie się.

Bieg jałowy prostownika b. mało wpływa na proces starzenia się prostownika, gdyż nie powoduje znacznego wzrostu jego temperatury.

Naogół prostownik jest przyrządem bardzo trwałym. Znane są przypadki pracy prostownika ok. 20.000 godzin, przy czym prąd oddawany przez prostownik zmalał tylko o 20%.

Najgorszy okres starzenia się przypada na pierwsze 150 do 200 godzin pracy, poczym starzenie się postępuje bardzo powoli. Przy sposobności podajemy, iż prostowniki selenowe po utracie pewnych własności

mogą być w pewnym stopniu lub całkowicie regenerowane. W stosunku do prostowników miedziowych sposobu regeneracji utraconych własności na razie nie znamy. Prostownik w eksploatacji znosi bez szkody wsteczne napięcia do 18 V na ogniwo, napięcia nieco wyższe są już szkodliwe. Napięcie to nosi nazwę napięcia zaparowego. Wielkość napięcia wstecznego przy którym następuje przebicie zależy jest od:

- cech konstrukcyjnych prostownika (m. innymi od grubości warstwy Cu₂O)
- od warunków eksploatacyjnych (w jakiej temperaturze nastąpiło przebicie).

W miarę jak posuwają się badania naukowe nad prostownikami stykowymi oraz w miarę jak przybywa doświadczeń z praktyki eksploatacji tych prostowników zmieniają się wymagania stawiane prostownikom.

Między innymi pogodzono się z nieco większymi stratami, aby osiągnąć mniejsze liczby ogniów prostujących na dane napięcie oraz przyjęto większe obciążenie prądem na jednostkę powierzchni prostownika kosztem ewentualnego szybszego starzenia się ogniów prostujących.

W ostatnich latach jednak zaznaczył się nawrót do stosowania mniejszych obciążeń, a to w celu uzyskania większej pewności działania prostowników, pracujących zazwyczaj bez dozoru.

Podane wielkości napięć i prądów są to liczby uzyskane przy badaniach ogniów prostowników prądem stałym. Dla prądu zmiennego zasilającego prostownik, odpowiednikiem tych napięć są napięcia maksymalne. Ponieważ dla prądu zmiennego posługujemy się najczęściej pojęciem napięcia skutecznego, związanego z pojęciem napięcia maksymalnego, musimy napięcie skuteczne (wskazywane przez woltomierz prądu zmiennego) przeliczyć na napięcie maksymalne wg. następującego wzoru:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U = 1,41 \cdot U$$

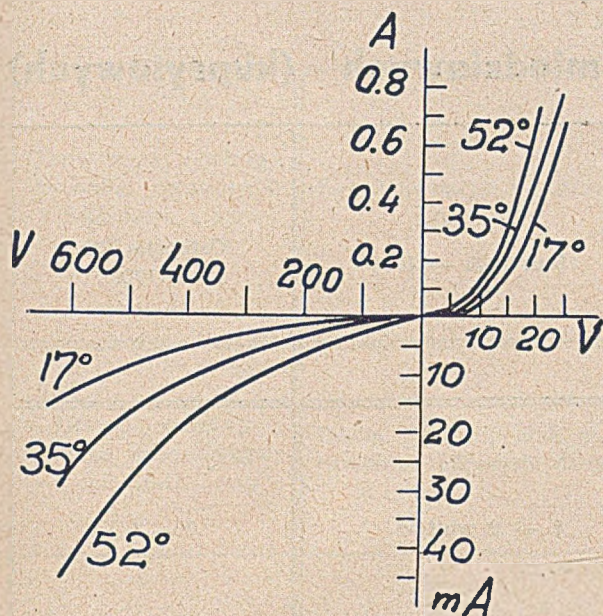
gdzie U — napięcie skuteczne w woltach, U_m — napięcie maksymalne w woltach.

Natomiast jeśli chodzi o prąd, to za odpowiednik liczb, uzyskanych podczas badań ogniów prostowników prądem stałym, dla prądu zmiennego przyjmuje się również wartość skuteczną prądu zmiennego (czyli odczyt na amperomierzu prądu zmiennego).

Dzieje się to dlatego, że w zjawiskach takich jak przebicie decyduje najwyższe napięcie chwilowe, zaś w zjawiskach starzenia się decyduje cieplny skutek prądu łącznie z napięciem przyłożonym. Jest to uproszczone, ale wystarczające dla potrzeb praktycznych obraz zjawisk. W rzeczywistości zjawiska te są bardziej złożone.

Należy pamiętać, że właściwości prostowników są różne zależnie od sposobu produkcji stosowanego przez daną firmę, czasu z jakiego pochodzą i jak długo pracowały. Najlepiej jeśli pracują w warunkach przepisanych przez zakład, który je wytworzył.

Rys. 3 przedstawia wykres zależności od temperatury i napięcia prądu płynącego w kierunku roboczym i w kierunku wstecznym w prostowniku złożonym z 40 ogniów miedziowych połączonych szeregowo.

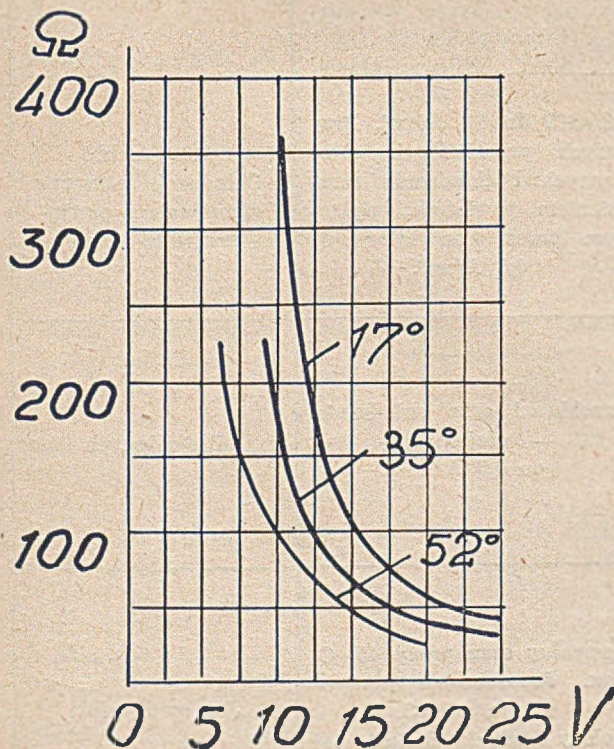


Rys. 3. Charakterystyka miedziowego prostownika stykowego złożonego z 40 ogniów połączonych szeregowo.
 17° — krzywa przy 17 °C;
 35° — krzywa przy 35 °C;
 52° — krzywa przy 52 °C.

Rys. 4 przedstawia zmiany oporności prostownika w kierunku przewodzącym w zależności od temperatury.

Rys. 5 przedstawia wykres zależności współczynnika prostowania tegoż prostownika zależnie od temperatury.

Podana na str. 124 i 125 tablica przedstawia zgrupowanie najważniejszych charakterystyki miedziowych prostowników stykowych.

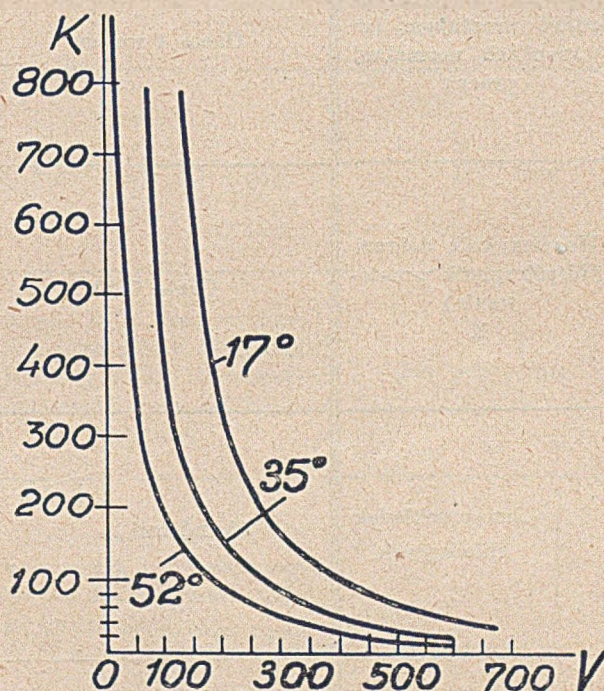


Rys. 4. Oporność stosu prostownika miedziowego w przewodzącym kierunku. Prostownik miedziowy składa się 40 ogniów połączonych szeregowo.

Przykłady zagadnień rozwiązywanych podczas remontu prostowników

Pytanie 1. W jednym stosie mostka prostownika stykowego składającego się z 10 ogniów połączonych szeregowo, uszkodzono podczas transportu 2 ogniwa. Napięcie na jedno ogniwo wynosiło 4 woltu. W jaki sposób naprawić prostownik?

Odpowiedź. Uszkodzone ogniwa można wymontować lub zewrzeć. Pierwotnie napięcie wynosiło 4 woltu na ogniwo. Po zwarciu 2 ogniw będzie ono wynosić $40:8 = 5$ woltów na ogniwo, co możemy dopuścić jeśli pogodzimy się z nieco gorszym współczynnikiem prostowania K. Współczynnik ten w przybliżeniu możemy przewidzieć posługując się rys. 2.



Rys. 5. Zależność K od przyłożonego napięcia dla 40 połączonych szeregowo ogniów miedziowych prostowników stykowych. 17° — krzywa zdjęta przy 17 °C; 35° — krzywa zdjęta przy 35 °C; 52° — krzywa zdjęta przy 52 °C.

Pytanie 2. Czy możemy przywrócić utracone właściwości prostownika miedziowego, który pracował długi czas?

Odpowiedź. Nie znane są sposoby regeneracji prostowników miedziowych. Regenerować umiemy tylko prostowniki selenowe. Ażeby przedłużyć wiek naszego prostownika należy postarać się o lepsze chłodzenie. Zastosować przewiew lub zanurzenie w oleju transformatorowym (dla prostowników większych).

Pytanie 3. Jakie największe obciążenie może znieść nasz prostownik?

Odpowiedź. Największe dopuszczalne napięcie znajdziemy w tablicy. Z wykresów sprawdzimy, jaki współczynnik K odpowiada napięciu. Z tablicy znajdziemy również największy dopuszczalny prąd, zależnie od ro-

T a b l i c a I

Charakterystyki prostowników miedziawych (kuprytowych)

Okres czasu, z którego pochodzi prostownik i informacja o jego własnościach.		Lata poprzednie i częściowo rok 1935	Rok 1935 — 1939	Ostatnie lata do 1950
Napięcie na jedno ogniwo prostujące (w warunkach normalnej pracy)		Okolo 4 woltów	8 — 9 woltów	7 — 9 V
Współczynnik dobroci (Współczynnik prostowania) K		Okolo 7500	Nie wiele ponad 100 przy 8—9 woltach na ogniwo (zaś przy 4 V na ogniwo $K = 1000$)	Zwraca się mniejszą wagę na współczynnik dobroci, zaś większą uwagę na napięcie dopuszczalne oraz na dopuszczalne obciążenie.
Gęstość prądu w A/cm ²	Bez przekładek chłodzących	50 mA/cm ²	Wykonywa się tylko z płytkami chłodzącymi	Nie buduje się bez przekładek chłodzących.
	Z przekładkami chłodzącymi	Trochę więcej niż 0,05 A/cm ² (brak dokładnych danych)	Od 0,05 do 0,3 A/cm ² . Przy dużych przekładkach chłodzących i chłodzeniu strumieniem powietrza, pędzonym przez wentylator do 0,5 A/cm ² .	0,05 A/cm ² Chłodzenie sztuczne strumieniem powietrza 0,15 A/cm ²
	Chłodzenie olejowe	Brak danych	Przekładki oraz chłodzenie olejem do 0,6 A/cm ²	Brak danych
Temperatura pracy		Ograniczono się do podania, że nie należy przegrzewać lub uważano, że dopuszczalna temp. stanowi 35° C.	Normalny stan pracy 45° C. Max. dopuszczalna temperatura 55° C. Należy jednak unikać tej temperatury.	Jak poprzednio

T a b l i c a 1.

(Ciąg dalszy)

Okres czasu, z którego pochodzi prostownik i informacja o jego własnościach	Lata poprzednie i częściowo rok 1935	Rok 1935 — 1939	Ostatnie lata do 1950
Grubość warstwy tlenku miedziawego Cu ₂ O	Różne grubości, brak w literaturze bliższych danych.	0,1 mm niekiedy do 0,5 mm	Jak poprzednio
Grubość warstwy zaporowej	$\frac{1}{10000}$ do $\frac{1}{100000}$ mm	10^{-6} do 10^{-7} mm	10^{-5} mm
Wytrzymałość pod względem przebicia. Dopuszczalne napięcie	Zdania są rozbieżne. Naogół duże, uwarunkowane dość grubą warstwą Cu ₂ O w niektórych wykonaniach małe rzędu 5 V	Rzędu 18 V czasami nawet mniej, co zależy od grubości warstwy Cu ₂ O i warstwy zaporowej oraz od temperatury.	Jak poprzednio
Przebieg starzenia się	Znane są przypadki, gdzie po 15.000 godz. pracy bez przerwy współczynnik dobroci (współczynnik prostowania) spadał o 10%, zaś przy 10.000 godz. z przerwami tylko o 5%. Badano wtedy przeważnie zmiany współczynnika.	Najbardziej starzeje się prostownik w pierwszych 150 — 200 godzinach pracy. Po 20.000 godz. prąd zmalał do 80% swej pierwotnej wartości. Badano przeważnie wzrost oporności prostownika w kierunku przewodzącym.	Jak poprzednio
Gdzie jest siedlisko prostowania.	Na granicy miedzi i tlenku miedziawego	Na granicy miedzi i tlenku miedziawego	Na granicy miedzi i tlenku miedziawego
Docisk płytek w kg/cm ²	Ogniwa wrażliwe na docisk, brak danych liczbowych.	Ogniwa wrażliwe na docisk. Brak danych liczbowych.	Jak poprzednio
Oporność styku w kierunku prostowania w Ω/cm^2	Okolo 14 Ω/cm^2 przy obc. 0,05 A/cm ² i temperaturze 17°—20° C	Okolo 14 Ω/cm^2 przy obc. 0,05 A/cm ² i temperaturze 17°—20° C.	Jak poprzednio

dzaju chłodzenia. Następnie prądem stałym należy sprawdzić czy prostownik nie pobiera zbyt dużego prądu wstecznego, obliczyć współczynnik K i sprawdzić jego zdolność z obranym K z tablic. Następnie obciążyć prostownik prądem jaki wypadnie z obranego z tablic obciążenia w A/cm^2 i sprawdzić doświadczalnie czy prostownik nie grzeje się powyżej podanej w tablicy temperatury.

Pytanie 4. Jak powiększyć moc posiadanego prostownika?

Odpowiedź. Zwiększamy do granic dopuszczalnych napięcie (wyznaczymy z tablic największe napięcie na jedno ogniwo) oraz stosujemy najlepsze chłodzenie (przewiew lub zanurzenie w oleju), co pozwoli zwiększyć natężenie prądu do większych dopuszczalnych granic.

Silnik asynchroniczny ze szczeliną powietrzną promieniową*)

Inż. Antoni Reutt

Silnik asynchroniczny ze szczeliną powietrzną promieniową posiada zupełnie inny układ rdzenia magnetycznego, niż normalny silnik asynchroniczny. Podczas gdy zwykły silnik asynchroniczny posiada szczelinę powietrzną, długość której mierzy się w kierunku promieniowym w stosunku do osi silnika, w omawianym silniku długość szczeliny powietrznej jest mierzona równoległe do osi wału silnika. Na rys. 1 jest pokazany przekrój takiego silnika.

Obwód magnetyczny silnika ze szczeliną promieniową składa się z części należącej do stojana

Uzwojenie stojana (C) takiego silnika jest ułatwione z tego powodu, że żłobki rozmieszczone na płaszczyźnie są dostępne na całej długości i całe uzwojenie jest łatwe do skontrolowania.

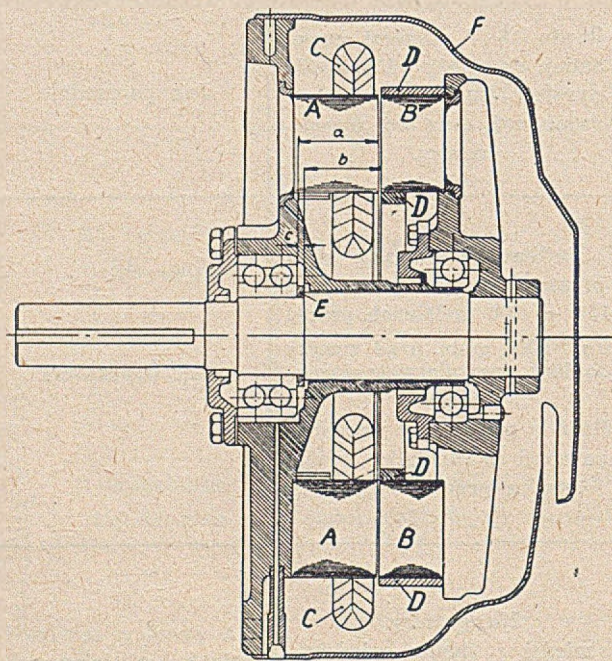
Magnetyczna część wirnika, sporządzona ze zwiniętej taśmy stali prądnicowej, jak również uzwojenie klatkowe wirnika powinny posiadać dostateczną sztywność wobec sił działających przy obracaniu się wirnika.

Uzwojenie klatkowe wirnika uzyskuje się przez odśrodkowe zalewanie żłobków wirnika i pierścieni zwierających (D) za pomocą aluminium lub miedzi. Stosowanie miedzi pozwala na osiąganie większych szybkości, a lepsza jej przewodność pozwala na zmniejszenie wymiarów wirnika.

Pod względem mechanicznym silnik posiada kilka ciekawych szczegółów. Przede wszystkim ciekawy jest sposób połączenia magnetycznych części stojana i wirnika z konstrukcją nośną. Spawanie jest tutaj jednym z najwłaściwszych sposobów montażu tych części. Ponieważ najlepsze wyniki uzyskuje się przy spawaniu stali ze stałą, części lane stojana i piasty wirnika posiadają pierścienie stalowe osadzone metodą skurczową, do których przyspawane są części obwodu magnetycznego.

Jeśli chodzi o *l o ż y s k a*, to jak na rys. 1 widać, oba łożyska są osadzone w jednej i tej samej części konstrukcyjnej należącej do stojana. Jedno z łożysk jest dwurzędowe zdolne do przenoszenia momentów w dowolnym kierunku i jest osadzone na moc. Drugie łożysko ze strony wirnika pozwala na przesuw spowodowany rozszerzaniem się wału. Zalety takiego łożyskowania stają się widoczne, kiedy się rozważy konieczność sprawdzenia w y m i a r ó w s z c z e l i n. Dla kontroli tych wymiarów potrzebna jest określona baza, tj. stała płaszczyzna odniesienia. Bazę dla stojana stanowi płaszczyzna, na której oparte jest łożysko dwurzędowe. Dla wirujących części taką bazą do sprawdzenia wymiarów jest krawędź zatoczenia wału pod łożysko. Z tego widać, że dla zachowania szczeliny trzeba sprawdzać wymiary a , b , c podane na rys. 1.

Wymiar a , odległość od oparcia łożyska do płaszczyzny czołowej stojana, mierzy się przy planowaniu płaszczyzny czołowej po zmontowaniu i nawinięciu stojana. Wymiar b jest sprawdzany w końcowej operacji



Rys. 1. Silnik asynchroniczny ze szczeliną powietrzną promieniową.

(A) i z części należącej do wirnika (B) w postaci dwóch pierścieni o jednakowych średnicach—zewnętrznej i wewnętrznej. Jako materiał zastosowano stal prądnicową lecz nie, jak zwykle, w arkuszach, tylko w postaci taśmy odpowiedniej szerokości.

Proces wytłaczania żłobków w taśmie jest połączony z automatycznym zwijaniem taśmy w pierścień (warstwa na warstwę, podobnie jak się zwija zwykły pas). Posuw taśmy przy tłoczeniu żłobków jest zmienny i to w ten sposób, że po zwinięciu taśmy w pierścień na jednej czołowej powierzchni pierścienia powstają żłobki, zależnie od założeń: albo promieniowe dla stojana albo nieco skośne dla wirnika.

*) Artykuł niniejszy opracowany na podstawie artykułu Andersona zamieszczonego w „Machine Design” z sierpnia 1947 r. jest rozwinięciem notatki pt. „Silnik asynchroniczny klatkowy z boczną szczeliną powietrzną”, zamieszczonej w zeszyt 3 „W. E.” z r. 1948.

montażowej wirnika. Wymiar c jest grubością wstawki (E) i przez zmianę tej grubości, można uzyskać różne wymiary szczeliny powietrznej bez zmiany jakichkolwiek innych wymiarów. Można podkreślić, że jest to jedyny silnik, w którym wymiary szczeliny powietrznej mogą być łatwo zmieniane bez naruszenia magnetycznych wymiarów silnika. Właściwość ta łatwo też może być wykorzystana przy badaniu wpływu szczeliny powietrznej na rozproszenie przy obciążeniu silnika.

Zastosowana konstrukcja do łożyskowania eliminuje konieczność stosowania osobnych tarcz łożyskowych, jak to ma miejsce w silnikach zwykłych, przez co uzyskuje się oszczędność na ciężarze. Pokrywa (F), która służy do ochrony uzwojenia i jako przewodnica wentylacji może być zrobiona z cienkiej blachy stalowej, aluminiowej lub z innego lekkiego metalu.

Przyciąganie magnetyczne między płaszczyznami stojana i wirnika jest przyjmowane przez łożysko dwurzędowe. Przyciąganie to wynosi ok. 1 kg na 1 cm² powierzchni szczeliny powietrznej.

Poniżej podana jest tabela porównawcza dla silnika ze szczeliną powietrzną promieniową i silnika o układzie magnetycznym zwykłym w odniesieniu do cięża-

rów, wymiarów i momentów bezwładności wirników. Wysoki moment bezwładności silnika z promieniową szczeliną czyni silnik przydatnym do napędów specjalnych, np. pras do tłoczenia, natomiast nie nadaje się on tam, gdzie wymagana jest częsta zmiana kierunku ruchu.

Konstrukcja silnika ze szczeliną promieniową szczególnie korzystna jest dla wykonania kołnierowego. Przez zastosowanie prostokątnej podstawy silnik może być również zastosowany do napędu pasowego. Mniejsze wymiary i ciężary silnika ze szczeliną promieniową uzyskano nie na skutek zredukowania efektywnych ilości miedzi lub stali prądnicowej; stało się to możliwe przez zastosowanie tarczowego układu i wewnętrznej konstrukcji wsporczej stojana. Ta wewnętrzna konstrukcja wspiera w dużej mierze przyczynia się do zredukowania ciężaru bez zmniejszenia mocy lub sztywności. Należy podkreślić również oszczędność stali prądnicowej z powodu braku odpadków (naróżników). Ilość stali prądnicowej potrzebnej do silników o różnych szybkościach (różne liczby biegunów) może być lepiej dostosowana, gdyż nie ma się tutaj do czynienia z określoną średnicą, jak w silnikach o normalnym układzie rdzenia magnetycznego.

Moc KM	Typ silnika	Bezwładn. wirnika funt. x stopy ²	Ciężar funt	Średnica cale	Długość cale
1	Szczel promien	1,0	41	10 ³ / ₈	6 ¹ / ₈
	„ normalna	0,37	61	9 ⁵ / ₈	11 ⁷ / ₈
2	„ promien.	2,3	70	12 ³ / ₈	6 ¹³ / ₁₆
	„ normalna	0,50	97	14 ¹ / ₈	13 ⁷ / ₈
5	„ promien.	7,0	106	10 ⁷ / ₈	8 ³ / ₁₆
	„ normalna	1,4	174	12 ¹ / ₈	16 ⁷ / ₈
10	„ promien.	13,0	178	16 ³ / ₈	9 ⁹ / ₁₆
	„ normalna	4,0	332	15 ³ / ₄	21 ¹ / ₁₆

Popularna elektrotechnika

Urządzenia elektryczne

Inż. el. Z. Tarłowski

(ciąg dalszy)

Własności elektryczne. Przewodność właściwa drutów wyprostowanych, rozkręconych z linki stanowiącej żyłę kabla powinna wynosić przy temperaturze 20°C co najmniej: dla miedzi 57 m/Ω mm², dla aluminium 35 m/Ω mm². Powyższe odnosi się do żył które mają być użyte do wykonania kabla nowego, natomiast przewodność żył wielodrutowych rozkręconych z gotowego kabla i wyprostowanych, powinna wynosić przy temperaturze 20°C: dla miedzi 56m/Ω mm², dla aluminium 34 m/Ω mm².

Przepisy PNE 6 podają również w specjalnej tabelicy największe dopuszczalne oporności oraz najmniejsze dopuszczalne przewodności żył miedzianych i aluminiowych w gotowym kablu przy temperaturze 20°C, gdzie zostało wzięte pod uwagę zwiększenie, względnie zmniejszenie przewodności żył o 2%, spowodowane skrętem żył; wartości liczbowe podane w tej tabelicy odnoszą się do 1000 metrów długości kabla.

B u d o w a ż y ł y. Jak już wspomniano poprzednio, żyły kabli elektroenergetycznych wykonywane są w dwóch postaciach, a mianowicie jako:

okrągłe — stosowane w kablach jednożyłowych i w kablach wielożyłowych na napięcie do 6 kV, o ile przekrój żyły nie przekracza 10 mm² oraz na napięcie 10 kV i wyżej bez względu na przekrój żyły;

sektorowe — stosowane we wszelkich rodzajach kabli wielożyłowych. Przepisy PNE 6 określają również jednoznacznie najmniejsze dozwolone liczby drutów w żyłach miedzianych i aluminiowych, zarówno okrągłych, jak i sektorowych.

Stosowanie żył probierczych w kablach dozwolone jest w myśl powyższych przepisów tylko dla kabli do napięcia 1 kV, przy czym przekrój żyły probierczej powinien wynosić co najmniej 1 mm².

I z o l a c j a ż y ł. Żyły kabli elektroenergetycznych są izolowane:

a) przy pomocy papieru nasyconego olejem mineralnym;

b) przy pomocy gumy wulkanizacyjnej.

Izolacja papierowa. Papier kablowy nasycony, który stanowi izolację kabla, zostaje nawinięty na żyły kablowe w postaci wąskich taśm. Liczba warstw tych taśm jest taka, aby uzyskać wymaganą grubość izolacji określoną w przepisach PNE 6, które w specjalnych tablicach podają wymagane grubości izolacji kabli jedno- i wielożyłowych. W kablach wielożyłowych, żyły metalowe i izolowane papierem skręca się razem w rdzeń, a szczeliny między żyłami zostają wypełnione papierem lub jutą, celem uzyskania przekroju kołowego rdzenia. Skręcone w ten sposób żyły owija się jeszcze kilkoma warstwami papieru o łącznej grubości 0,5 do 0,6 mm, poczem po dokładnym wysuszeniu w próżni, nasycy się mineralnym olejem izolacyjnym, tzw. olejem kablowym, o bardzo dobrych własnościach izolacyjnych. W kablach wielożyłowych poszczególne żyły oznacza się barwami przez nawinięcie na izolowane żyły barwionego papieru, przy czym barwy oznaczeń żył są następujące:

dla kabli 2-żyłowych: czerwona, naturalna (papier niezabarwiony),

dla kabli 3-żyłowych: czerwona, naturalna, niebieska,

dla kabli 4-żyłowych: czerwona, naturalna, niebieska, czerwono-naturalna.

Żyłę zerową oznacza się zwykle barwą naturalną papieru kolorowego. Dla napięć 15.000 woltów i wyższych, stosuje się normalnie tzw. kable ekranowane typu Hochstädtera („H“), gdzie każda żyła posiada na izolacji dodatkowe owinięcie taśmą z papieru metalizowanego. Jak już powiedziano wyżej, ma to na celu polepszenie rozkładu pola elektrycznego w izolacji kabla (rys. 26 i 27).

Izolacja gumowa. W niektórych szczególnych przypadkach stosuje się również kable izolowane gumą wulkanizacyjną, tj. gumą składającą się z kauczuku, kredy, siarki i dodatkowych składników chemicznych, mających na celu przede wszystkim uzyskanie odpowiednich własności elektrycznych i mechanicznych izolacji gumowej.

Przepisy PNE 6 podają również znormalizowane grubości izolacji gumowej, przy czym zgodnie z tymi przepisami, powłoka gumowa ma być co najmniej dwuwarstwowa i owinięta taśmą nagumowaną.

W kablach wielożyłowych, kilka żył izolowanych gumą skręca się razem i po wypełnieniu szczelin między żyłami jutą celem uzyskania przekroju kołowego, taki rdzeń wielożyłowy owija się taśmą nagumowaną i otacza szczelnym płaszczem ołowianym.

Powłoka ołowiana i warstwy ochronne. Powłoka ołowiana, stanowiąca ochronę izolacji kabla, powinna być wykonana z technicznie czystego ołowiu, ma być gładka, jednolita i bez pęknięć. Grubość powłoki ołowianej powinna odpowiadać wartościom ustalonym w przepisach PNE 6 i zależy od średnicy kabla pod płaszczem ołowianym. Zależnie od rodzaju powłoki ołowianej rozróżnia się:

a) kable we wspólnej powłoce ołowianej, naprasowanej na skręcone w rdzeń izolowane żyły kabla;

b) kable w powłoce ołowianej na poszczególnych izolowanych żyłach.

Kable wymienione w p. b) składają się z żył izolowanych papierem nasyconym, z których każda posiada osobny płaszcz ołowiany. Kable tego typu nazywają się kablami trójpłaszczowymi, a rys. 39 podaje szczegóły budowy takiego kabla, skręconego z trzech jednożyłowych ekranowanych i obołowionych kabli, pokrytych wspólnie nasyconym materiałem włóknistym, opancerzonego dwiema taśmami stalowymi i pokrytego jeszcze raz nasyconym materiałem włóknistym.

Poza powłoką ołowianą, kable elektroenergetyczne posiadają najczęściej, jak to już podano poprzednio, zewnętrzne warstwy ochronne i opancerzenie. Wymiary zewnętrznego pokrycia kabli są również ujęte normami PNE 6 i zależne od średnicy kabla zmierzonej na płaszczu ołowianym.

B a d a n i a i p r ó b y k a b l i.

Zgodnie z przepisami PNE 6, próby kabli elektroenergetycznych w izolacji papierowej są następujące:

1. Sprawdzenie budowy.
2. Pomiar przewodności właściwej.
3. Określenie przekroju czynnego żyły.
4. Próba wytrzymałości elektrycznej w wytwórni.
5. Pomiar współczynnika strat dielektrycznych.
6. Próba na zwijanie.
7. Próba wytrzymałości elektrycznej po ułożeniu.

W odniesieniu do kabli w izolacji gumowej, omawiane przepisy PNE 6 przewidują próby wymienione wyżej w pozycjach: 1, 2, 3, 4, 7 oraz niezależnie od tego próby następujące:

1. Próba ocynowania żył.
2. Próba własności mechanicznych i starzenia gumy.

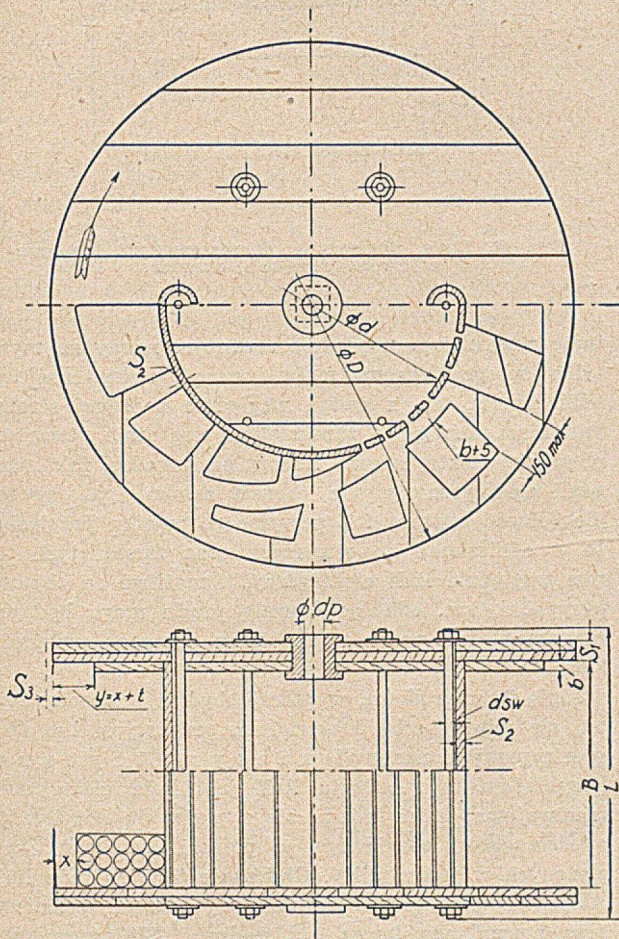
Przy próbach prądem zmiennym należy użyć źródła prądu o częstotliwości 40 do 60 okr./sek.

Przepisy PNE 6 podają szczegółowo, w jaki sposób i w jakich warunkach oraz w odniesieniu do jakich kabli należy przeprowadzać bądź to część, bądź też wszystkie wymienione poprzednio próby.

Wyżej wymienione przepisy omawiają również szczegółowo, w jaki sposób powinno być wykonane opakowanie kabli elektroenergetycznych. Zgodnie z brzmieniem tych przepisów, kable powinny być dostarczane w stanie nawiniętym na bębny drewniane i tylko krótkie odcinki o wadze do 150 kg mogą być dostarczane w kręgach.

Kabel musi być nawinięty ściśle na walec bębna, którego średnica nie powinna być mniejsza niż 20-krotna średnica zewnętrzna kabla, a końce kabla powinny być dostępne do prób, umocowane wewnątrz bębna oraz zabezpieczone przed wnikaniem wilgoci przez szczelne zalutowanie powłoki ołowianej kabla. Tarcze i talerz bębna nie powinny posiadać żadnych wystających gwoździ.

Wymiary bębnow drewnianych odpowiadają Polskim Normom Teletechnicznym PN/PNT — 429, a tylko kable najcięższe wysokiego napięcia dostarczane są zwykle na bębnach specjalnych, dostosowanych do długości fabrykacyjnych i ciężaru kabla. Bęben z nawiniętym kablem powinien być dla zabezpieczenia kabla w czasie transportu szczelnie obity deskami na całym obwodzie tarcz.



Rys. 40. Szkic bębna do kabli.

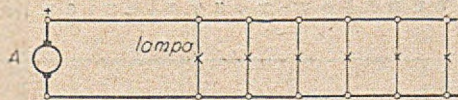
Rys. 40 podaje szkic bębna do kabli, przy czym wymiary oznaczone na rysunku literami: d , D , L , B itd. są znormalizowane dla różnych typów bębnow.

Bęben z kablem powinien być zaopatrzonej w tabliczkę, na której należy podać: znak wytwórni, numer fabrykacyjny, skrót nazwy kabla z podaniem liczby żył, przekrojów i napięcia znamionowego oraz długość odcinka kabla nawiniętego na bęben. Na zewnętrznych powierzchniach tarcz należy z obu stron bębna namalować strzałkę podającą kierunek toczenia bębna.

II. SIECI ELEKTRYCZNE

1. Uwagi ogólne.

Omówione w rozdziale I przewody i kable elektroenergetyczne stanowiące elementy składowe wszystkich bez wyjątku urządzeń elektrycznych, są przede wszystkim i najczęściej tymi elementami, które łączą źródła energii elektrycznej z jej odbiornikami i służą do przesyłania prądu elektrycznego od jednych do drugich.



Rys. 41. Linia elektryczna, dwuprzewodowa, otwarta.

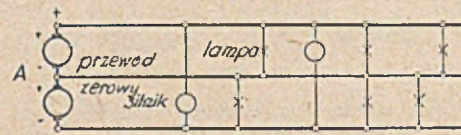
Zarówno źródła, jak i odbiorniki mogą być, jak wiemy z kursu „Podstaw Elektrotechniki“, połączone między sobą szeregowo, lub równoległe. W pierwszym przypadku natężenie prądu we wszystkich źródłach i odbiornikach połączonych ze sobą jest jednakowe, a napięcia mogą być różne, natomiast w drugim — natężenia prądu mogą być rozmaite, a napięcie jest jednakowe.

Z powyższego wynika już jasno wyższość układu równoległego nad szeregowym choćby z tego powodu, że wtrącenie do obwodu nowego odbiornika nie wymaga podwyższenia napięcia, gdyż źródło prądu o stałym napięciu daje prąd większy lub mniejszy, zależnie od liczby i wielkości włączonych odbiorników.

Zgodnie z przyjętymi zasadami, zespół przewodów elektrycznych odpowiednio izolowanych, zawieszonych na wspólnych konstrukcjach wsporczych, względnie ułożonych we wspólnym kanale pod ziemią i przeznaczonych do przesyłania energii elektrycznej — nosi nazwę linii elektrycznej.

Rys. 41 podaje przykład linii zasilanej w punkcie A prądem stałym, składającej się z dwu przewodów: dodatniego i ujemnego.

Jeden z tych przewodów, a mianowicie przewód dodatni nosi nazwę przewodu dosyłowego, którym prąd elektryczny jest dosyłany do odbiorników od punktu zasilającego A; drugi natomiast tj. przewód ujemny — to przewód odsyłowy, którym prąd jest odsyłany z powrotem do punktu zasilającego. Przewód dosyłowy zawsze prawie towarzyszy przewodowi odsyłowemu, biegnąc nieodłącznie jeden obok drugiego, podob-

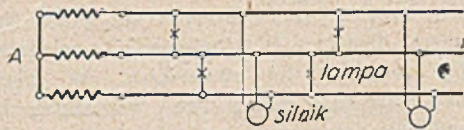


Rys. 42. Linia elektryczna trójprzewodowa, prądu stałego, otwarta.

nie jak dwie szyny toru kolejowego. Przez analogię zespół taki nazwano **torem elektrycznym**.

Tor elektryczny jednak może być również trój- a nawet czteroprzewodowy. Na rys. 42 pokazano np. układ 3-przewodowy prądu stałego, w którym są do dyspozycji dwa napięcia: jedno, oświetleniowe, między każdym z przewodów skrajnych, a przewodem środkowym zwanym inaczej zerowym oraz drugie, silnikowe, większe od tamtego dwa razy, między obu przewodami skrajnymi. Przewód zerowy nosi taką nazwę dlatego, że prowadzi tylko różnicę natężeń między prądami w przewodach skrajnych i w przypadku pełnej symetrii obciążenia (wielkości natężenia prądów elektrycznych w przewodach skrajnych jednakowe), przewód zerowy żadnego prądu nie prowadzi.

Linia elektryczna podana na rysunku 41 może być również uważana jako linia prądu zmiennego jednofazowego z tym jednak, że zamiast przewodów: dodatniego i ujemnego, będą przewody: fazowy i zerowy. Rysunki Nr 43 i 44 przedstawiają kolejno przykłady linii: trój-przewodowej prądu zmiennego trójfazowego, gdzie jest do dyspozycji tylko jedno napięcie, tzw. napięcie skojarzone, albo liniowe (np. 380 V do zasilania silników 3-fazowych prądu zmiennego), oraz

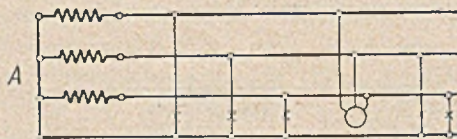


Rys. 43. Linia elektryczna, trójprzewodowa, prądu zmiennego trójfazowego, otwarta.

czteroprzewodowej, gdzie mamy do dyspozycji dwa napięcia, a mianowicie: *napięcie fazowe*, tzw. napięcie gwiazdowe lub inaczej oświetleniowe (zwykle 220 V) między każdym z przewodów fazowych a przewodem zerowym i skojarzone albo inaczej liniowe, między dowolnymi przewodami fazowymi (najczęściej 380 V).

Linia elektryczna, zawierająca przewody jednego lub więcej torów nosi odpowiednio nazwę linii jedno- lub wielotorowej; jeżeli jednak biegnące obok siebie tory mają różne przeznaczenie (np. tor energetyczny i teletechniczny, tor prądu stałego i zmiennego, tory o różnej częstotliwości prądu, tory o różnych napięciach itp.), a więc nie mogą być połączone między sobą równolegle, to każdy z takich torów stanowi oddzielną linię elektryczną, bez względu na to, czy przewody wszystkich tych linii są zawieszane na wspólnych konstrukcjach wsporczych, względnie ułożone we wspólnym kanale, czy też nie.

Punkt, przez który tor lub linia elektryczna zasilana jest energią, nosi nazwę *punktu zasilania*



Rys. 44. Linia elektryczna, czteroprzewodowa prądu zmiennego trójfazowego, otwarta.

jącego; punkt zaś, w którym przyłączony jest odbiornik nazywamy *punktem odbiorczym*.

Tor względnie linię elektryczną doprowadzającą energię elektryczną do odbiorników (przy czym jako odbiornik należy uważać również transformator) tylko z jednej strony, jak to pokazano np. na rys. 41 oraz 42, nazywamy *otwartą*.

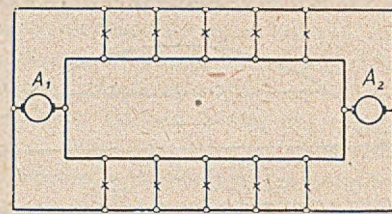
Tor lub linię elektryczną, przy pomocy której energia doprowadzana jest do odbiorników z dwóch stron, jak to pokazano np. na rys. 45, nazywamy *zamkniętą*.

Linie elektryczne zamkniętą, wykonaną w kształcie pierścienia, jak to pokazano na rys. 46, nazywamy *okrężną*.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na zasadniczą różnicę między zamkniętym lub otwartym torom względnie linią elektryczną, a zamkniętym lub otwartym obwodem elektrycznym, mówiąc bowiem o linii lub



Rys. 45. Linia elektryczna, dwuprzewodowa, prądu stałego, zasilana z dwóch stron, zamknięta.



Rys. 46. Linia elektryczna, dwuprzewodowa, zasilana w dwóch punktach, okrężna.

torze zamkniętym względnie otwartym mamy na myśli tylko sposób doprowadzenia energii elektrycznej do odbiorników, tzn. z dwóch względnie z jednej strony, natomiast mówiąc o zamkniętym względnie otwartym obwodzie elektrycznym, mamy na uwadze fakt, czy prąd elektryczny płynie (obwód zamknięty), czy też nie (obwód otwarty). Z powyższego wynika już jasno, że w odniesieniu do otwartych oraz zamkniętych torów względnie linii elektrycznych, możliwe są obydwa przypadki, tzn. odnośne obwody prądu mogą być pozamykane, lub potwierane przy pomocy wyłączników.

Linie 2-przewodową, w której obydwa przewody różnią się między sobą materiałem, przekrojem lub długością przyjęto nazywać *niesymetryczną*. Przykładem tego rodzaju linii jest linia elektryczna tramwajowa, która składa się z przewodu dosyłowego miedzianego i odsyłowego w postaci stalowych szyn ułożonych w jezdni ulicy. Obliczanie tego rodzaju linii stanowi zagadnienie specjalne, wychodzące poza zakres normalnego kursu „Urządzeń Elektrycznych“, a objęte kursem „Kolejnictwa Elektrycznego“.

Jasne jest, że w przeciwieństwie do linii niesymetrycznej, linię elektryczną 2-przewodową złożoną z przewodów jednakowych pod względem materiału, przekroju i długości, nazwiemy linią *symetryczną*.

Celem uproszczenia rysunków, schematów i obliczeń, wszystkie przewody należące do jednego toru elektrycznego oznacza się zwykle na rysunku jedną linią, nakładając je jakby na siebie. Strzałkami skierowanymi do tej linii oznacza się *odbiory energii* (odpływy); strzałkami zaś skierowanymi do linii, oznacza się *zasilania* (dopływy). Po dokonaniu tego rodzaju uproszczenia, linie przedstawione na rysunkach: 41, 42, 43, 44 otrzymują postać pokazaną na rysunku 47, natomiast linie podane na rysunkach: 45 i 46 będą wyglądać tak, jak to pokazano odpowiednio na rysunkach: 48 i 49.

Linie elektryczne zarówno zamknięte, jak i otwarte, mogą być z kolei *nierozgałęzione*, jak to miało miejsce w stosunku do wszystkich linii przedstawionych na dotychczasowych rysunkach, lub też *rozgałęzione*, jak to pokazano na rysunkach: 50 i 51, z których pierwszy przedstawia linię rozgałęzioną zamkniętą, drugi zaś otwartą.

Punkty, w których się schodzą co najmniej trzy linie (np. punkty *b, c, d* na rysunkach: 50 i 51) noszą nazwę *punktów rozgałęzienia*.

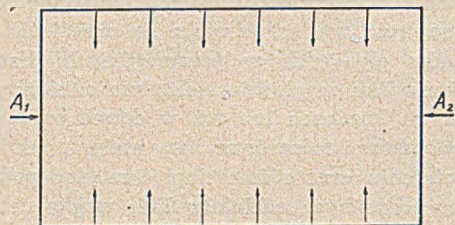


Rys. 47. Uproszczony schemat linii elektrycznej otwartej, odpowiadający rysunkom Nr. Nr. 41, 42, 43 i 44.



Rys. 48. Uproszczony schemat linii elektrycznej zamkniętej, przedstawionej na rys. 45.

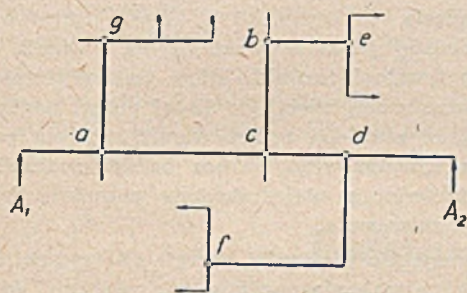
Punkty rozgałęzienia, do których energia elektryczna może dopływać co najmniej z trzech stron, jak np. punkty: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 podane na rysunku 52 nazwano punktami węzłowymi. Punkty *b*, *c*, *d* na tymże rysunku są wprawdzie punktami rozgałęzienia, lecz nie są punktami węzłowymi.



Rys. 49. Uproszczony schemat linii elektrycznej okrężnej, przedstawionej na rys. 46.

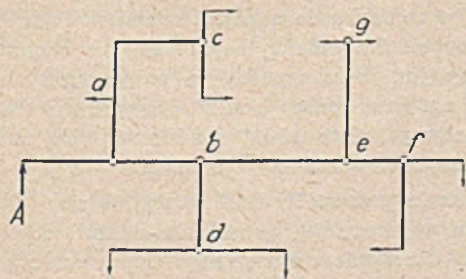
Linia rozgałęziona, posiadająca co najmniej jeden punkt węzłowy, nosi nazwę sieci węzłowej, a rysunek 52 podaje sieć o dziesięciu punktach węzłowych, podczas gdy rysunek 53 przedstawia sieć o jednym punkcie węzłowym.

Odcinki sieci węzłowej, zawarte między sąsiednimi punktami węzłowymi (np. 1 — *b* — 2; 2 — 3 itp.)

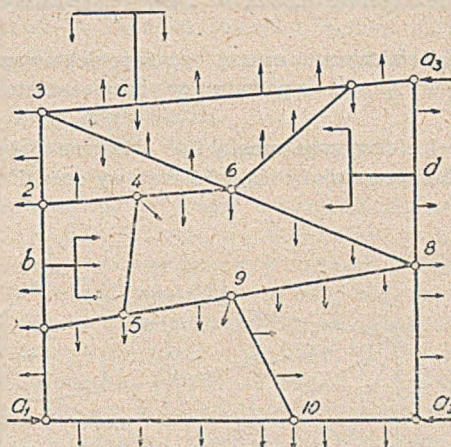


Rys. 50. Linia elektryczna zamknięta, rozgałęziona, a, b, c, d, e itd. — punkty rozgałęzienia.

oraz między punktami zasilającymi, a sąsiednimi punktami węzłowymi (odcinki $a_1 - 1$, $a_2 - 8$ itp., wg. rys. 52), nazwano bokami sieci. Naprzykład sieć podana na rys. 53 posiada trzy boki. Zamknięty wielobok w sieci węzłowej nosi nazwę okna sieci (okienka sieci).



Rys. 51. Linia elektryczna otwarta, rozgałęziona, a, b, c, d, e itd. — punkty rozgałęzienia.



Rys. 52. Sieć elektryczna o dziesięciu punktach węzłowych. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 — punkty węzłowe; b, c, d, — punkty rozgałęzienia; a_1 , a_2 , a_3 — punkty zasilania sieci.

Podane na rysunku 52 punkty zasilające sieć węzłową: a_1 , a_2 , a_3 , otrzymywać mogą energię elektryczną bezpośrednio z ustawionych w tych punktach wytwórni (elektrowni), lub przetwórn (stacji elektrycznych) transformatorowych, albo też z jednej tylko wytwórni lub przetwórn transformatorowej, za pośrednictwem oddzielnych, specjalnych linii zasilających. Rysunek 54 przedstawia taką właśnie sieć zasilaną z jednej wytwórni umieszczonej w punkcie *A*, za pośrednictwem linii zasilających: $A - a_1$, $A - a_2$, $A - a_3$.

Taki zespół urządzeń elektrycznych, który składa się z jednej lub wielu linii elektrycznych o rozmaitym przeznaczeniu, prądnic, transformatorów i innych urządzeń pomocniczych, jak np. transformatory regulujące napięcie, prostowniki itp. — nosi nazwę układu elektroenergetycznego.

Schematyczny przykład takiego układu elektroenergetycznego podano na rysunku 55, gdzie literami E_1 , E_2 , E_3 , E_4 oznaczone zostały elektrownie, zaś przez Pt_1 , Pt_2 , Pt_3 , Pt_4 oznaczono przetwornie transformatorowe, zasilające jedną lub więcej sieci elektrycznych o charakterze bądź to okręgowym, bądź też lokalnym.

2. Wytyczne ogólne do obliczania sieci elektrycznych.

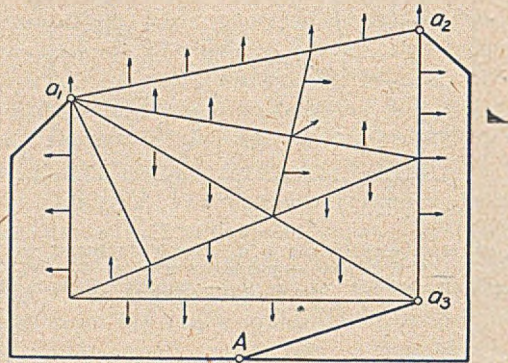
Sieci elektryczne, jak wynika z wyżej podanych uwag, są to urządzenia przeznaczone do przesyłania i rozdzielu energii elektrycznej. W związku z tym muszą one spełniać pewne określone warunki i wymaga-



Rys. 53. Sieć elektryczna o jednym punkcie węzłowym.

nia, które streścić można w trzech zasadniczych zdaniach:

- sieci elektryczne muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający bezpieczeństwo publiczne;
- sieci elektryczne muszą być obliczone i wykonane w sposób zapewniający ciągłość dostawy energii bez nie-



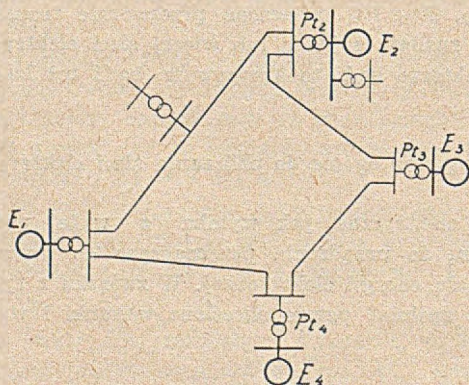
Rys. 54. Sieć elektryczna węzłowa, zasilana z jednej elektrowni, umieszczonej w punkcie A, za pośrednictwem linii zasilających: A — a₁, A — a₂, A — a₃.

spodziewanych przerw i zakłóceń oraz dobrą jakością energii, tj. na odpowiednie napięcie względnie częstotliwość, przy której energia elektryczna dostarczana ma być do przetwórci lub odbiorców.

- sieci elektryczne muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób najbardziej ekonomiczny, tj. racjonalny pod względem gospodarczym.

Wszystkie powyższe wymagania i warunki będą jednak spełnione tylko wówczas, kiedy przy projektowaniu sieci wykonane zostaną odpowiednie obliczenia i to zarówno natury technicznej, jak i gospodarczej. Obliczenia te są następujące:

- obliczenie rozprywu prądów i spadków napięć;



Rys. 55. Układ elektroenergetyczny. E₁, E₂, E₃, E₄ — elektrownie, Pt₁, Pt₂, Pt₃, Pt₄ — przetwórcie transformatorowe.

- sprawdzenie przekrojów przewodów na nagrzewanie, dopuszczalny spadek napięcia lub dopuszczalne wahania napięcia przy zmiennym obciążeniu, albo też na gospodarność, tj. najniższy koszt przesyłania energii;

- obliczenie liczby punktów zasilających sieć;
- wyбір najkorzystniejszego napięcia;

- wyбір i obliczenie urządzeń dodatkowych, przewidzianych do regulacji napięcia sieci;
- obliczenie prądów zwarcia;
- obliczenie warunków statycznej i dynamicznej równowagi w czasie pracy sieci;

Wszystkie wyżej podane obliczenia są obliczeniami elektrycznymi i niezależnie od ich wykonania przeprowadzone być muszą bezwzględnie odpowiednie obliczenia mechaniczne, w szczególności przy liniach powietrznych, dotyczące przewodów i konstrukcji wsporczych linii.

Poniżej podano pokrótce uzasadnienie i celowość przeprowadzania wszystkich wymienionych obliczeń.

Obliczanie rozprywu prądów, spadków napięcia oraz wahań napięcia w sieci pozwala na określenie wielkości prądów płynących w poszczególnych przewodach i odcinkach linii względnie sieci, wielkości napięć panujących na krańcach lub też w dowolnych punktach tychże odcinków i to zarówno przy stałym, jak i zmiennym obciążeniu oraz różnic napięć między początkami i końcami odnośnych odcinków linii względnie dwoma dowolnymi punktami projektowanej sieci.

Wysokość napięcia, przy którym są zasilane odbiorniki energii elektrycznej, decyduje w większości przypadków o prawidłowej pracy tych odbiorników, przy czym podkreślić należy szczególną wrażliwość na wahania napięcia odbiorników świetlnych.

Przykładowo należy podać, że przy spadku napięcia w stosunku do napięcia znamionowego o 10%, strumień świetlny żarówki elektrycznej zmniejszy się mniej więcej o 32,5%, tj. proporcjonalnie do napięcia w potęgę 3,6, a sprawność żarówki tj. strumień świetlny przypadający na jednostkę pobieranej mocy, zmniejszy się o około 19%, tj. proporcjonalnie do 2-giej potęgi napięcia.

Najbardziej jednakże wrażliwa na wahania napięcia jest trwałość żarówki, która jest odwrotnie proporcjonalna mniej więcej do 13-tej potęgi napięcia, co oznacza, że niewielki nawet wzrost napięcia powyżej napięcia znamionowego, skraca bardzo znacznie czas pracy żarówki, a niejednokrotnie powoduje jej bezwzględne zniszczenie.

Nie wszystkie odbiorniki energii elektrycznej są tak wrażliwe na wahania napięcia, jak odbiorniki świetlne.

Silniki elektryczne naprzykład znoszą w pewnych okolicznościach nieznaczne wahania napięcia bez złych skutków, tym nie mniej jednak pamiętać należy o tym, że nadmierny spadek napięcia spowodować może przeciążenie, a co za tym idzie i przegrzanie silnika oraz znaczne zmniejszenie jego momentu obrotowego.

Moment obrotowy bowiem silników indukcyjnych, z którymi najczęściej spotykamy się w zakładach przemysłowych, jest mniej więcej proporcjonalny do 2-giej potęgi napięcia, co oznacza, że przy spadku napięcia o 10% w stosunku do napięcia znamionowego, moment obrotowy silnika indukcyjnego maleje o około 19%.

Z tego już jasno wynika, że w pewnych okolicznościach, np. przy pracy silników w pobliżu obciążenia znamionowego, zbyt wielki spadek napięcia uniemożliwić może ruch silników w zakładzie.

Obliczanie przewodów linii względnie sieci elektrycznych na nagrzewanie ma na celu zależnie od sytuacji, bądź to określenie największego dopuszczalnego natężenia prądu w określonym przewodzie przy danym z góry sposobie jego ułożenia i przekroju, bądź też okre-

ślenie najmniejszego dopuszczalnego przekroju przewodu przy danym natężeniu prądu.

Rozgrzewanie się przewodu ponad pewną określoną granicę przewidzianą dla odnośnych warunków pracy tego przewodu, wpływa bowiem ujemnie na izolację przewodu, która może przez to ulec zniszczeniu, może stać się przyczyną stopienia przewodu, co w konsekwencji spowodować może nawet pożar, jeśli przewód ten umieszczony jest w budynku, najczęściej zaś, szczególnie w odniesieniu do przewodów napowietrznych, zmniejsza ich wytrzymałość mechaniczną.

Przy nieznanach przekrojach przewodów, tzn. jeśli należy je zaprojektować, wówczas znając rozpięty prądów oblicza się przekroje zakładając pewien dopuszczalny spadek napięcia tj. taki, ażeby wahania napięcia — przy największym i najmniejszym przewidywanym natężeniu prądu — nie przekraczały granic z góry określonych.

Są jednak i takie przypadki, kiedy spadek napięcia nie decyduje o doborze przekrojów przewodów w linii lub sieci elektrycznej. Powyższe ma miejsce np. przy obliczaniu linii zasilających sieć węzłową, lub też długich linii przesyłowych. W tych przypadkach przekrój przewodów oblicza się na gospodarność, co sprowadza się w zasadzie do wyboru takich przekrojów przewodów, przy których koszty przesyłania energii elektrycznej przy z góry zadany obciążeniu, będą możliwie jak najmniejsze.

Również na gospodarność oblicza się zwykle liczbę punktów zasilających sieć węzłową, a także względy gospodarcze decydują o tym, przy jakim napięciu najkorzystniej będzie się odbywać przesyłanie energii elektrycznej.

Obliczenie i właściwy dobór urządzeń regulacyjnych, pozwalają na utrzymanie na właściwym poziomie napięć w różnych punktach sieci nawet przy znacznych spadkach napięcia.

Obliczenie prądów zwarcia konieczne jest dla określenia wielkości tych prądów w różnych punktach

sieci, w najrozmaitszych warunkach pracy, a prądy te są podstawą do zaprojektowania i wyboru najbardziej odpowiednich dla tych warunków urządzeń, tj. posiadających wystarczającą wytrzymałość i to zarówno cieplną, jak i mechaniczną.

Współpraca dwóch lub wielu elektrowni na wspólną sieć, stworzyć może warunki, które muszą być niejednokrotnie sprawdzone drogą odpowiedniego obliczenia, mającego na celu kontrolę, czy zapewnione będą warunki równowagi tej współpracy w różnych przypadkach. Chodzi tu przede wszystkim o ustalenie największej możliwej mocy, jaką poszczególne elektrownie mogą być obciążone przy pracy normalnej, tj. bez wypadania z synchronizmu; jest to tak zwana *równowaga statyczna*. Chodzi również o sprawdzenie możliwości utrzymania poszczególnych maszyn w synchronizmie przy nagłych i znacznych zmianach oporności układu, zwarciach, udarach mocy itp.; jest to tak zwana *równowaga dynamiczna*.

Jak wspomniano wyżej, niezależnie od wszystkich wymienionych dotychczas obliczeń, które można objąć wspólną nazwą *obliczeń elektrycznych*, dla ostatecznego ustalenia przekroju przewodu konieczne jest jeszcze wykonanie *obliczeń mechanicznych*; pęknięcie bowiem przewodu w linii lub sieci elektrycznej grozi niejednokrotnie nie tylko przerwą w ruchu, lecz również może się stać niebezpieczne dla życia ludzkiego i spowodować pożar.

Zbyt cienki przewód, pękając choćby tylko w części (linki wielodrutowe) może nagrzać się nadmiernie na skutek zmniejszonego przekroju, zapalić izolację i spowodować pożar, jak to wyżej powiedziano. Szczególnie narażone na pęknięcia są przewody napowietrzne.

W dalszych rozdziałach podane zostaną bardziej szczegółowo wszystkie wspomniane dotychczas rodzaje obliczeń, a załączone do nich przykłady szczegółowe — wyjaśniają wszelkie możliwe wątpliwości.

Dalszy ciąg nastąpi

Podstawy elektrotechniki

Inż.el. T. Kuliszewski

5. PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA ELEKTROLITÓW

Powiedzieliśmy, że przez elektrolit płynie *prąd przenienny*, to znaczy, że ładunki przenoszone są przez jony elektrolitu na skutek jego dysocjacji. Im stopień dysocjacji elektrolitu jest większy, tym więcej ładunków przeniosą jego jony, a zatem wtedy przewodność elektrolitu staje się większa, czyli zmniejsza się jego oporność.

Doświadczenie jednak pokazuje, że *zmniejszanie się oporności elektrolitu przy zwiększaniu stopnia dysocjacji ma granicę*, poza którą oporność zaczyna znów wzrastać. Tłumaczy się to tym, że zwiększając rozcieńczenie roztworu, to znaczy zmniejszając jego stężenie, powiększamy stopień dysocjacji elektrolitu, a zatem oporność jego stopniowo maleje, ale tylko do chwili, kiedy liczba jonów w jednostce objętości elektrolitu przestanie wzrastać. Przy dalszym rozcieńczeniu roztworu maleje jednocześnie liczba drobin podlegających dysocjacji i mimo, że prawie wszystkie dro-

biny są zdysocjowane, liczba jonów przenoszących ładunek w jednostce objętości również maleje, a więc prąd jest mniejszy, czyli oporność rośnie.

Z powyższego wynika, że *oporność elektrolitu jest zależna od stopnia stężenia roztworu*, czyli od procentowej zawartości rozpuszczonej w wodzie substancji. Procentową zawartość liczymy zwykle w stosunku wagowym na sto jednostek wagowych rozpuszczalnika (w danym przypadku wody). Np. jeżeli w 100 gr (cm³) wody rozpuścimy 20 gr czystego kwasu siarkowego (H₂SO₄), to otrzymamy 20%-wy roztwór elektrolitu, a więc takie *stężenie roztworu* wynosi 20%.

Ponieważ, jak wiemy, przy powiększaniu temperatury elektrolitu dysocjacja się zwiększa, to zrozumiałe się staje, że przewodność w tym przypadku również rośnie, czyli oporność elektrolitu wtedy maleje. Dlatego też elektrolity mają współczynnik cieplny oporności ujemny. Wynosi on zwykle około — 0,02.

W tabelicy V podane są przybliżone *oporności w łaci* w e najoczęściej spotykanych elek-

trolitów w odniesieniu do 1 cm³ objętości dla pewnych stężeń oraz w spólczynnikach cieplnych oporności tych elektrolitów. Z tablicy tej widzimy dla jakich stężeń danego elektrolitu jego oporność właściwa wypada najmniejsza.

dzie większe od strony, gdzie panuje większa koncentracja jonów. Gdy przegrodę usuniemy to pod wpływem różnicy ciśnień osmotycznych jony będą przechodziły (dyfundowały) w elektrolicie z obszaru o większej do obszaru o mniejszej koncentracji jonów dążąc

TABLICA V.

Oporności właściwe i współczynniki cieplne oporności niektórych elektrolitów (dla $t = 20^{\circ}\text{C}$).

Rodzaj elektrolitu	Oporności właściwe ρ w $\frac{\Omega\text{cm}^2}{\text{cm}}$ dla stopnia stężenia w %%									Współczynnik cieplny oporności α
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	
H ₂ SO ₄	6,8	3,6	2,5	1,7	1,5	1,3	1,28	1,3	1,4	— 0,02
CuSO ₄	—	52	30	24	—	—	—	—	—	— 0,022
ZnSO ₄	—	52	30	24	—	—	—	—	—	— 0,024
KCH	—	5,7	3,1	2,95	1,95	1,82	1,82	1,95	2,15	— 0,02
AgNO ₃	—	41	21	15	11	10	8	7,5	6,3	— 0,022

Należy tu podkreślić, że pomiar oporności elektrolitu możemy przeprowadzić, posługując się prawem Ohma, tylko w tym przypadku, jeżeli do pomiaru użyjemy elektrod z takiego metalu, którego sól jest elektrolitem. Np. do pomiaru oporności siarczanu miedzi (CuSO₄) należy użyć obu elektrod wykonanych z miedzi. Poza tym pomiar należy przeprowadzić szybko i kilkakrotnie, zmieniając bieguny źródła prądu zasilającego. Powyższe warunki staną się zrozumiałe z chwilą, gdy poznamy zjawisko powstawania sił elektromotorycznych w elektrolicie.

Ruchliwość jonów w elektrolicie w czasie przepływu prądu jest nadzwyczaj mała. Stosunkowo najruchliwszy jest jon wodoru, gdyż szybkość jego wynosi około 0,003 cm/sek. Szybkości jonów w innych są kilkakrotnie mniejsze. Tego rodzaju szybkości obliczone są dla spadku napięcia 1 wolta na 1 cm biejący drogi jonu w elektrolicie o bardzo słabym stężeniu przy temperaturze 20°C. Przy napięciach wyższych szybkość jonów rośnie proporcjonalnie do wartości przyłożonego napięcia.

6. POTENCJAŁY ELEKTROLITYCZNE

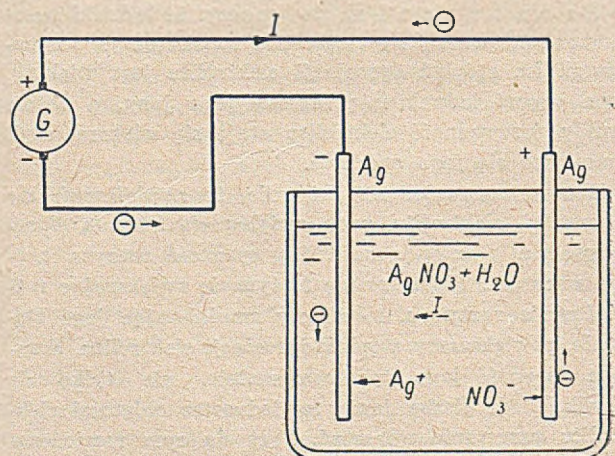
W normalnych warunkach rozmieszczenie jonów zarówno dodatnich jak i ujemnych w rozcieńczonym elektrolicie jest w każdym punkcie tego elektrolitu mniej więcej jednakowe. Mówimy wtedy, że koncentracja jonów w elektrolicie jest równomierna. Koncentrację jonów charakteryzuje tzw. ciśnienie osmotyczne. Im większa jest koncentracja jonów w elektrolicie, tym większe jest w nim ciśnienie osmotyczne.

Ciśnienie osmotyczne rozumiemy jako ciśnienie wywierane na ścianki naczynia przez jony wędrujące w elektrolicie. Jeżeli naczynie z elektrolitem przegrodzimy porowatą przesłoną, która przez swoje pory łatwo przepuszcza drobiny wody, z trudnością zaś — wędrujące jony, to przegroda taka również odczuwać będzie ciśnienie osmotyczne. Jeżeli natomiast koncentracje jonów po obu stronach przegrody są różne, to ciśnienie osmotyczne na przegrodę bę-

do równomiernego rozmieszczenia się w całej objętości elektrolitu. Ponieważ szybkości jonów dodatnich i jonów ujemnych różnią się niekiedy kilkakrotnie, to przy wyżej wymienionym wyrównaniu się ciśnień osmotycznych otrzymamy w elektrolicie dwa obszary o różnych koncentracjach jonów przeciwnego znaku. W jednym obszarze będziemy mieli nadmiar jonów ujemnych w stosunku do jonów dodatnich, natomiast w drugim obszarze — nadmiar jonów dodatnich. W rezultacie otrzymamy w elektrolicie dwa obszary zawierające ładunki elektryczne przeciwnych znaków, a zatem między tymi obszarami powstanie różnica potencjałów, czyli napięcie. Tego rodzaju potencjały zjawiające się w elektrolicie nazywamy potencjami koncentracyjnymi.

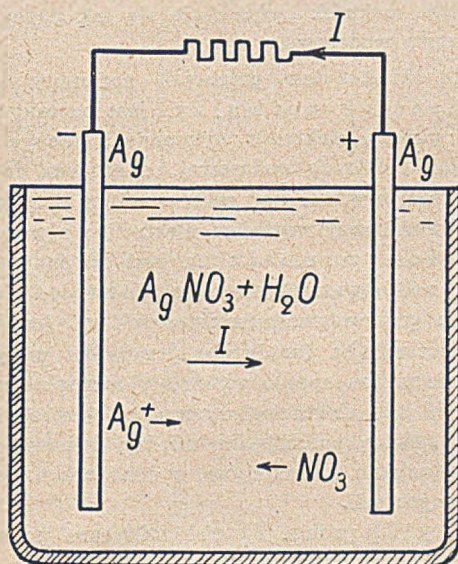
Zjawisko występowania potencjałów koncentracyjnych możemy zaobserwować w czasie elektrolizy.

Rozpatrzmy przypadek elektrolizy wodnego roztworu azotanu srebra (AgNO₃) w naczyniu z elektrodami srebrnymi (rys. 55). W czasie elektrolizy anjony (NO₃⁻) dążą do anody, zaś katjony (Ag⁺) dążą do katody. Pomijając proces elektrolizy, w którym katjon (Ag⁺) oddając swój ładunek katodzie wydziela się na niej w postaci atomu czystego srebra oraz w którym anjon (NO₃⁻) po oddaniu ładunku anodzie wytrąca



Rys. 55. Proces elektrolizy z azotanem srebra.

z niej atom srebra (Ag) i tworzy nową drobinę elektrolitu ($AgNO_3$), możemy zauważyć, że wokół anody następuje koncentracja anjonów, zaś wokół katody — katjonów. W czasie elektrolizy prąd w elektrolicie płynie od anody do katody. Po przerwaniu dopływu prądu powodującego elektrolizę w elektrolicie nastąpi ruch jonów na skutek istnienia różnicy ciśnień osmotycznych dla każdego rodzaju jonów, w wyniku czego aniony zaczną odpływać od anody, zaś katjony — od katody (rys. 56). Na elektrodach powstaje jednocześnie różnica potencjałów koncentracyjnych i zaczyna płynąć prąd we wnętrzu elektrolitu w kierunku od katody do anody, a więc w kierunku odwrotnym od kierunku prądu, jaki płynął w czasie elektrolizy. Anoda nadal pozostaje anodą, gdyż odpływają od niej ładunki ujemne unoszone anionami, katoda zaś pozostaje nadal katodą, ponieważ odpływające katjony unoszą ładunki dodatnie. Prąd ten będzie płynął dotąd, aż osiągnięta zostanie równomierna koncentracja obu rodzajów jonów w całej objętości elektrolitu. Jeżeli w tym czasie połą-



Rys. 56. Powstawanie chwilowego prądu na skutek istnienia różnej koncentracji jonów w elektrolicie.

czymy ze sobą elektrody nazewnątrz przy pomocy jakiegoś oporu, to popłynie w nim chwilowy bardzo słaby prąd w kierunku od anody do katody. W ten sposób otrzymujemy pewnego rodzaju źródło prądu zwane ogniwem koncentracyjnym.

Siła elektromotoryczna ogniwa koncentracyjnego jest znikoma i ogniwo takie w praktyce elektrotechnicznej nie ma żadnego znaczenia, jednak poznanie jego było bardzo celowe, gdyż zjawiska w nim zachodzące uzasadniają warunek, jaki należy spełnić przy pomiarze oporności elektrolitu, o którym już wspominaliśmy, mianowicie, że pomiar ma być szybki kilkakrotny i przy zmienianych biegunach źródła prądu, aby nie dopuścić do zjawienia się potencjałów koncentracyjnych. Poza tym przeprowadzone rozważania pomogą nam zrozumieć powstawanie siły elektromotorycznej w ogniwach elektrochemicznych.

Innym rodzajem potencjału elektrolitycznego, na którym opiera się zasada działania wszystkich ogniw elektrochemicznych, jest

potencjał elektrody, jaki zjawia się na niej z chwilą zanurzenia jej w elektrolicie.

Aby zrozumieć powstawanie potencjału elektrolitycznego na elektrodzie metalowej musimy poznać w ogólnych zarysach osmotyczną teorię procesu elektrochemicznego, jaki zachodzi między powierzchnią metalową elektrody zanurzonej w elektrolicie zawierającym jony metalu, z którego wykonana jest elektroda, a powierzchnią elektrolitu stykającą się bezpośrednio z powierzchnią elektrody. Teorię tę podał przed 60-ciu laty Nernst.

Jeżeli jakieś ciało stałe (nie metal) zanurzymy do wody lub do innego rozpuszczalnika, to zacznie się ono rozpuszczać w nim. Proces rozpuszczania się polega na samorzutnym odrywaniu się drobin od ciała i przechodzeniu ich do roztworu. Odrywanie się drobin od ciała musi przebiegać pod wpływem pewnej siły, która z powierzchni zewnętrznej ciała wyrzuca drobinę i pędzi ją do roztworu. Możemy sobie zatem wyobrazić, że w ciele stałym, rozpuszczanym w roztworze, istnieje pewne ciśnienie. Ciśnienie to Nernst nazwał „ciśnieniem roztwórczym“.

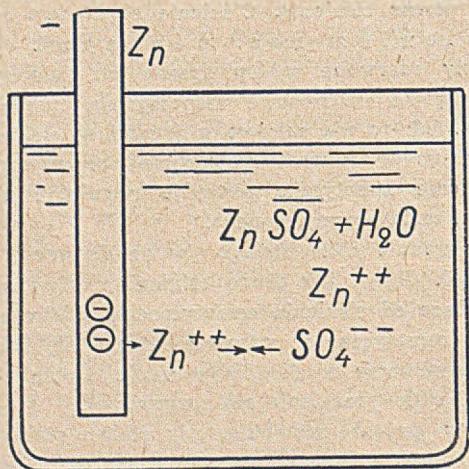
Drobiny oderwane w ten sposób od ciała stałego przechodzą do roztworu i rozpoczynają „wędrówkę“ podobnie, jak to ma miejsce z jonami w elektrolicie, wytwarzając w roztworze pewne ciśnienie osmotyczne. To ciśnienie osmotyczne powstaje również i na powierzchni ciała rozpuszczanego.

Rozpuszczanie ciała stałego w roztworze będzie trwało tak długo, jak długo ciśnienie roztwórcze będzie większe od ciśnienia osmotycznego. Z chwilą gdy ciśnienie osmotyczne w roztworze zrówna się z ciśnieniem roztwórczym w ciele, wyrzucanie drobin z ciała ustanie i ciało przestanie się rozpuszczać.

Podobny proces następuje, gdy ciałem stałym jest metal. Jednak wyrzucane cząstki metalu, na skutek istniejącego w nim ciśnienia roztwórczego, nie są objętymi atomami, lecz jonami tego metalu i to jonami dodatnimi. Płytkę metalową zanurzoną w roztworze przy wyrzucaniu jonów dodatnich ładuje się ujemnie, pobliski zaś obszar w roztworze, posiadając wyrzucone z metalu jony dodatnie, otrzymuje potencjał dodatni, na skutek czego między powierzchnią płytki metalowej i graniczną powierzchnią roztworu zjawia się pewna różnica potencjałów. A zatem w miejscu styku płytki metalowej z roztworem musi istnieć pewna siła elektromotoryczna wytwarzająca tę różnicę potencjałów. Wartość tej różnicy potencjałów, a zatem i siły elektromotorycznej ustali się wówczas, gdy zrównają się wartości ciśnienia roztwórczego w metalu i ciśnienia osmotycznego jonów tego metalu w roztworze. Równowaga taka może nastąpić tylko wtedy, gdy żadne obce czynniki lub reakcje wtórne chemiczne, czy też jonowe, nie zakłócają przebiegu procesu rozpuszczania. Tego rodzaju przypadek zachodzi wtedy, gdy płytka metalowa zanurzona jest w roztworze swojej własnej soli, np. płytka cynkowa (Zn) w roztworze siarczanu cynku ($ZnSO_4$). Stężenie tego elektrolitu musi być tego rodzaju, aby ciśnienie osmotyczne jonów dodatnich (Zn^{++}), powstałe na skutek dysocjacji elektrolitycznej, było mniejsze od ciśnienia roztwórczego w płytce cynkowej (rys. 57). Tylko w tym przypadku elektroda cynkowa będzie ładowana ujemnie i cały proces będzie miał przebieg jak opisaaliśmy wyżej.

Jeżeli stężenie siarczanu cynku będzie tego rodzaju, że ciśnienie osmotyczne katjonów w elektrolicie będzie równe ciśnieniu roztwórczemu w elektrodzie cynkowej, wtedy po zanurzeniu jej w elektrolicie nie otrzymamy na elektrodzie żadnego ładunku i siła elektromotoryczna w miejscu jej styku z elektrolitem nie powstanie. Jeżeli natomiast stężenie elektrolitu będzie tego rodzaju, że ciśnienie osmotyczne katjonów przewyższy ciśnienie roztwórcze w elektrodzie, wtedy cynk nie będzie rozpuszczał się w elektrolicie, gdyż katjony (Zn^{++}) z elektrolitu osiadać będą na elektrodzie ładując ją dodatnio. W pobliskim obszarze elektrolitu otrzymamy wówczas przewagę anjonów (SO_4), a zatem w miejscu styku elektrody z elektrolitem zjawi się siła elektromotoryczna lecz o kierunku przeciwnym, po czym ustali się do pewnej wartości bezwzględnej, jednak cynk będzie posiadał wówczas potencjał dodatni.

Jeżeli do takiego elektrolitu o dowolnym stężeniu zanurzymy dwie elektrody cynkowe nie stykające się ze



Rys. 57. Proces rozpuszczania się cynku w siarczanie cynku i powstawanie potencjału elektrolitycznego.

sobą, wtedy na każdej elektrodzie ustali się jednakowy potencjał tego samego znaku i między tymi elektrodami nie będzie żadnej różnicy potencjałów, zatem wypadkowa siła elektromotoryczna w elektrolicie będzie równa zeru. Tym też tłumaczy się uzasadnienie drugiego z kolei warunku, jaki wymagany jest przy pomiarze oporności elektrolitów, mianowicie zastosowanie do pomiaru elektrod z takiego metalu, którego sól jest elektrolitem. Wtedy prawo Ohma jest słuszne i dla elektrolitów.

Siła elektromotoryczna wywołująca różnicę potencjałów między elektrodą metalową a elektrolitem zależy od ciśnienia roztwórczego metalu elektrody oraz od stężenia elektrolitu, czy od ciśnienia osmotycznego jonów tej elektrody w elektrolicie. Bezpośrednie zmierzenie tej siły elektromotorycznej jest niemożliwe bez użycia elektrody dodatkowej. W tym przypadku jednak wystąpi dodatkowa siła elektromotoryczna wywołująca różnicę potencjałów między elektrodą dodatkową a elektrolitem i pomiar nie da żadnego konkretnego rezultatu. Jeżeli przyjmijemy siłę elektromotoryczną występującą przy elektrodzie dodatkowej równą zeru, wtedy tylko będziemy mogli umownie określać potencjały dowolnych elektrod względem potencjału elektrolitu, zakładając, że równy on jest zeru.

Rodzaj potencjału, czyli jego znak możemy określić wówczas, jeżeli wiemy jaki rodzaj jonów wyrzuca elektroda. Wodór i wszystkie metale są katjonotwórcze, gdyż wyrzucają jon dodatni, natomiast tlen, siarka, reszta kwasowa czy też grupa wodorotlenowa są elektrodami anjonotwórczymi. Należy jednak podkreślić, że elektrody katjonotwórcze będą miały potencjał ujemny, a elektrody anjonotwórcze — potencjał dodatni tylko wtedy, gdy ciśnienie roztwórcze w tych elektrodach będzie większe od ciśnienia osmotycznego ich jonów w elektrolicie. W przypadku, gdy ciśnienie roztwórcze jest mniejsze od ciśnienia osmotycznego, wtedy oczywiście znak potencjału na elektrodzie zmieni się na odwrotny.

Jako elektrodę dodatkową, przy pomocy której możemy umownie określać potencjał dowolnej elektrody zanurzonej w roztworze posiadającym koncentrację jej jonów, przyjęto uważać elektrodę wodorową. Elektroda wodorowa wykonana jest w postaci blaszki lub płytki platynowej powleczonej czernią platynową, która bardzo łatwo adsorbuje atomy wodoru z elektrolitu, wskutek czego staje się jak gdyby elektrodą gazową wodorową.

Przyjęto określać tzw. potencjał normalny elektrody. Potencjał normalny jest to taki potencjał, jaki posiada elektroda wykonana z danego metalu względem elektrody wodorowej, zanurzona do roztworu normalnego własnej soli, przyjmując potencjał elektrody wodorowej względem elektrolitu równy zeru. Roztworem normalnym jest tu roztwór soli metalu, z którego wykonana jest elektroda, zawierający jeden gramorównoważnik tej soli w jednym litrze rozpuszczalnika (w danym przypadku wody).

Określone w ten sposób potencjały normalne pozwalają ustalić siłę elektromotoryczną w elektrolicie powodującą różnicę potencjałów między dwiema dowolnymi elektrodami zanurzonymi w roztworach normalnych własnych soli.

W tablicy VI podane są elektrolityczne potencjały normalne dla niektórych elektrod.

Jeżeli stężenie elektrolitu różni się od normalnego należy do wartości potencjału normalnego wnieść odpowiednią poprawkę.

Jasną jest rzeczą, że elektroda zanurzona do elektrolitu nie zawierającego soli metalu elektrody będzie posiadała potencjał nieraz znacznie różniący się od normalnego. Dokładnym określeniem potencjałów elektrod w dowolnym elektrolicie oraz procesami chemicznymi, jakie w związku z tym występują, zajmuje się szczegółowo elektrochemia.

7. POLARYZACJA

Rozpatrując proces elektrolizy wodnego roztworu azotanu srebra (rys. 55) przy użyciu elektrod srebrnych zauważyliśmy, że przebieg elektrolizy odbywa się normalnie, to znaczy, że otrzymujemy pierwotny produkt elektrolizy — srebro i nie występują przy tym na elektrodach wyraźnie żadne dodatkowe potencjały elektrolityczne, któreby mogły ten przebieg zakłócić. Pomijając bardzo nieznaczny wpływ różnicy potencjałów koncentracyjnych w elektrolicie możemy powiedzieć, że oporność elektrolitu się nie zmienia w ciągu całego

Tablica VI.
Elektrolityczne potencjały normalne.

Materiał elektrody	Rodzaj jonów	Potencjał normalny w woltach
Potas	K ⁺	- 2,92
Sód	Na ⁺	- 2,71
Mangan	Mn ⁺	- 1,10
Cynk	Zn ⁺⁺	- 0,76
Żelazo	Fe ⁺⁺	- 0,44
Nikiel	Ni ⁺⁺	- 0,22
Ółów	Pb ⁺⁺	- 0,12
Żelazo	Fe ⁺⁺⁺	- 0,04
Wodór	H ⁺	± 0,00
Miedź	Cu ⁺⁺	+ 0,34
Miedź	Cu ⁺	+ 0,51
Srebro	Ag ⁺	+ 0,80
Siarka	S ⁻	+ 0,51
Tlen	O ⁻	+ 1,23
Wodorotlenek	OH ⁻	+ 1,68
Anion (siarczan)	SO ₄ ⁻	+ 1,90
Chlor	Cl ⁻	+ 1,35

procesu elektrolizy, a zatem słuszne jest w tym przypadku prawo Ohma dla elektrolitów.

Podobne zjawisko obserwujemy w czasie elektrolizy siarczanu miedzi (CuSO₄) przy użyciu elektrod miedzianych. Na katodzie wydziela się czysta miedź, przy anodzie zaś tworzy się nowa drobina siarczanu miedzi i elektrolitu nie ubywa, natomiast zmniejsza się masa anody. W ten sposób drobiny miedzi przechodzą z anody na katodę.

Nieco odmienny przebieg ma proces elektrolizy, jeżeli elektrolit podlegający elektrolizie nie zawiera jonów metalu, z którego wykonane są elektrody.

Rozpatrzmy przykład elektrolizy roztworu kwasu siarkowego (H₂SO₄) przy użyciu elektrod miedzianych (Cu). Przebieg elektrolizy jest podobny do rozpatrzonego już przypadku na rys. 54 przy użyciu elektrod platynowych, otrzymujemy tu jednak jeszcze inną reakcję chemiczną przy anodzie, czego nie obserwowaliśmy przy anodzie platynowej, mianowicie rozpuszczanie się elektrody w elektrolicie.

Przed założeniem prądu do elektrod z obcego źródła prądu, między każdą elektrodą miedzianą a elektroli-tem ustali się pewna różnica potencjałów, przy tym wartości potencjałów na każdej elektrodzie będą równe i tego samego znaku, a zatem między elektrodami miedzianymi różnica potencjałów będzie równa zeru. W pierwszej chwili po założeniu prądu przez elektrolit popłynie prąd i rozpocznie się elektroliza kwasu siarkowego w taki sposób, jak to widzimy na rys. 54, przy tym amperomierz pokaże pewne wychylenie. Jednak już po krótkim czasie zauważymy, że prąd zaczyna maleć i jeżeli doprowadzone napięcie nie będzie miało odpowiedniej wartości, to prąd może zaniknąć

zupełnie i proces elektrolizy się przerwie. Rozpatrzmy jakie czynniki wpływają na to zjawisko.

Po rozpoczęciu się procesu elektrolizy na katodzie osiadać będzie jon wodorowy i po otrzymaniu z anody brakującego elektronu rozładuje się i będzie adsorbowany przez powierzchnię katody. Na analizie przy odpowiednio dobranym stężeniu elektrolitu i dostatecznym prądzie na skutek istnienia pewnego ciśnienia roztwórczego w elektrodzie miedzianej następuje wyrzucanie jonów dodatnich miedzi (Cu⁺⁺), które powoduje ładowanie się anody ujemnie, co z kolei umożliwia przepływ prądu w obwodzie ze źródła zasilającego. Wyrzucony jon dodatni miedzi łączy się na drodze reakcji jonowej z jonem ujemnym elektrolitu (SO₄) i tworzy drobinę siarczanu miedzi (CuSO₄), która rozpuszcza się w elektrolicie. Pomijając inne reakcje wtórne, jakie odbywają się przy anodzie (nieznaczne wydzielanie się tlenu na skutek łączenia się pewnych drobiny reszty kwasowej z drobiną wody itp.), możemy powiedzieć, że anoda nie zmieniała w czasie elektrolizy swego potencjału względem elektrolitu, jaki posiadała przed rozpoczęciem elektrolizy. Katoda natomiast pokrywając się wodorem, który jest znacznie gorszym przewodnikiem od miedzi, zostaje częściowo izolowana od elektrolitu i mniejsza jej powierzchnia styka się z nim, co powoduje zmniejszenie się natężenia prądu w obwodzie. Ponadto katoda staje się przez to jak gdyby elektrodą wodorową, która posiada w tym elektrolicie potencjał mniejszy od potencjału elektrody miedzianej, gdyż będąc elektrodą anjonotwórczą wyrzuca jony wodoru, przez co ładuje się ujemnie. Między elektrodą miedzianą a jonami wodoru wytwarza się różnica potencjałów wywołana dodatkową siłą elektromotoryczną o kierunku przeciwnym do płynącego przez elektrolit prądu, co powoduje znaczne zmniejszenie się tego prądu. W przypadku kiedy ta dodatkowa siła elektromotoryczna stanie się równa sile elektromotorycznej źródła zasilającego, prąd w obwodzie przestanie płynąć.

Zjawisko zmiany potencjału elektrody w czasie elektrolizy nazywamy polaryzacją elektrody, zaś tę siłę elektromotoryczną dodatkową skierowaną odwrotnie — siłą elektromotoryczną polaryzacji. Jasną jest rzeczą, że aby otrzymać proces elektrolizy należy do elektrod doprowadzić napięcie rozkładowe przynajmniej nieco większe od siły elektromotorycznej polaryzacji.

W czasie elektrolizy soli tego metalu, z którego wykonane są elektrody, nie obserwujemy zjawiska polaryzacji, a więc elektrody metalowe zanurzone do roztworu własnej soli w czasie elektrolizy nie polaryzują się.

Natężenie prądu rozkładowego, tj. płynącego przez elektrolit w czasie elektrolizy możemy obliczyć posługując się prawem Ohma i w przypadku elektrod polaryzujących się, jednak należy zawsze uwzględnić wartość siły elektromotorycznej polaryzacji, którą należy odjąć od siły elektromotorycznej źródła zasilającego.

Zatem prawo Ohma dla elektrolizy przy elektrodach polaryzujących się ma postać następującą:

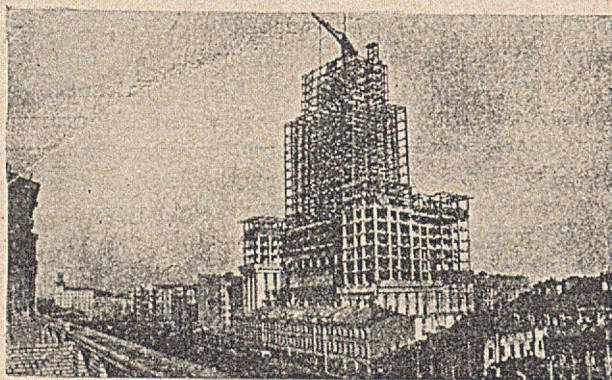
$$I = \frac{E - E_p}{R_c}$$

gdzie I jest to natężenie prądu rozkładowego płynącego przez elektrolit w czasie elektrolizy, E — SEM-czna źródła prądu zasilającego, E_p — SEM-czna polaryzacji oraz R_c — oporność całkowita obwodu, na którą składa się oporność elektrolitu i oporność wewnętrzna źródła prądu zasilającego, jeżeli pominiemy nieznaczne oporności przewodów doprowadzających prąd.

(C. d. n.)

Nowiny elektrotechniczne.

ELEKTROTECHNIKA NA USŁUGACH BUDOWNICTWA W ZSRR. — Udział elektrotechniki w zagadnieniach odbudowy jest bardzo duży i wielostronny. Rozpatrzmy tu pobieżnie kilka przykładów zastosowania elektrotechniki w budownictwie radzieckim. Rys. 1



Rys. 1. Konstrukcja stalowa 20-piętrowego budynku wznoszonego obecnie w Moskwie.

przedstawia konstrukcję stalową 20-piętrowego budynku administracyjnego, wznoszonego obecnie w Moskwie przy placu Smoleńskim. W miesiącach zimowych w Moskwie jest zimno, a nawet bardzo zimno, mimo to jednak roboty postępują szybko i sprawnie. W znacznym stopniu zawdzięcza się to elektrotechnice. Ogromny szkielet stalowy tego budynku jest spawany elektrycznie.

Rys. 2 przedstawia spawaczy pracujących na górnych kondygnacjach szkieletu. W dole są widoczne czteropiętrowe domy wyglądające jak małe pudełeczko zapalek. Spawacze zaopatrzeni w ciepłe ubrania, czapki z nauszawkami, rękawice — na tej wysokości panują bowiem często silne wiatry — stwarzają mocne i trwałe połączenia stalowych elementów konstrukcyjnych.

Duże znaczenie przy wznoszeniu takich ogromnych budowli mają różnego rodzaju podnośniki o napędzie elektrycznym.

Stalowy szkielet budynku zatapia się w betonie, stropy zaś wykonuje się z żelbetu. Aby zimą przy mrozie umożliwić roboty betonowe, należy beton nagrzewać. Nagrzewanie dokonuje się za pomocą elektryczności. Druty i pręty stalowe zbrojenia zatopione w betonie włącza się w obwód prądu elektrycznego.

Rys. 3 ilustruje nagrzewanie betonu prądem elektrycznym. Przewody doprowadzające prąd łączy się z prętami i drutami stalowymi zatopionymi w betonie, końce ich jednak wystają ponad beton. Ostatnio opracowano

całą nową gałąź techniki elektrycznego nagrzewania betonu podczas betonowania.

Ażeby umożliwić na budowie dalsze prace murarskie, w szczególności układanie ścian z pustaków oraz wykładanie ścian licówką zastosowano komory ocieplające. Są to ruchome komory z oknami zawieszane przy ścianie budynku i ogrzewane elektrycznie. Ogrzewanie elektryczne sprawia to, iż zaprawy murarskie nie zamarzają, co pozwala:

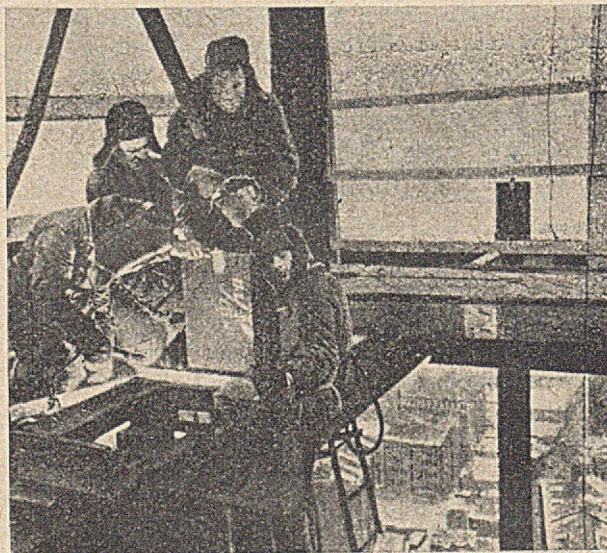
- murarzom operować zaprawami tymi, jak w lecie;
- zaprawom zaś odbyć proces wiązania po ułożeniu muru i przymocowaniu licówki.

Rys. 4 przedstawia komorę ocieplającą ogrzewaną elektrycznie do podnoszenia, rys. 5 zaś tę samą komorę podczas pracy na pewnej wysokości; wyżej są widoczne ostnioną brezentem przestrzenie — tam nagrzewa się elektrycznie świeżo zabetonowane elementy konstrukcyjne, mianowicie: stropy, belki i słupy.

Na rys. 6 przedstawiono elektryczne nagrzewanie w komorze — ocieplającej. Widoczne na rysunku rury doprowadzają strumień gorącego powietrza od grzejników elektrycznych do ścian budynku. Powietrze opływa ścianę, nagrzewa ją, co przyspiesza proces wiązania zapraw murarskich (wapno, cement).

Tych kilka przykładów wykazuje, jak wielki udział bierze elektrotechnika w pracach budowlanych.

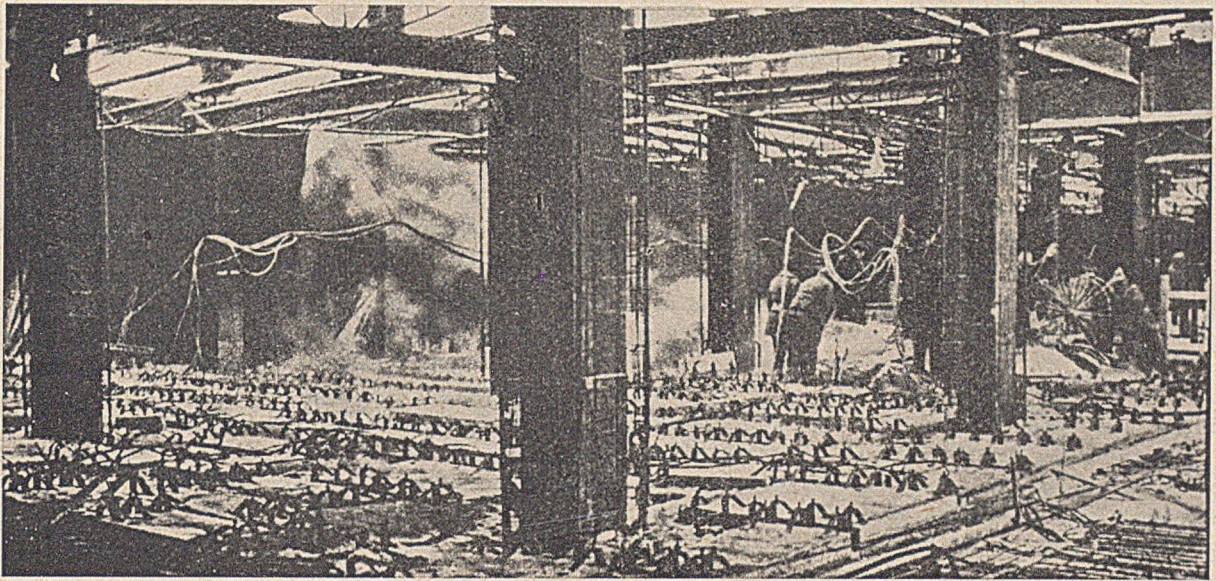
Wpływ elektrotechniki nie ogranicza się jednak do ułatwienia i przyspieszenia prac budowlanych. Nowoczesne budownictwo stwarza również nowe formy wykorzystania energii elektrycznej dla celów ułatwienia życia ludziom światła pracy.



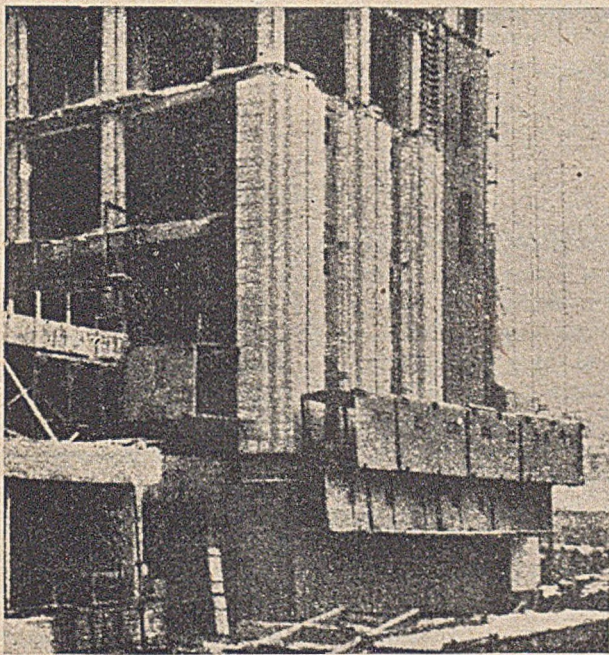
Rys. 2. Spawacze pracujący na górnych piętrach szkieletu drapacza w czasie mroźnej zimy.

Mamy tu na myśli schody ruchome (napędzane elektrycznie) oraz elektryczne koleje podziemne.

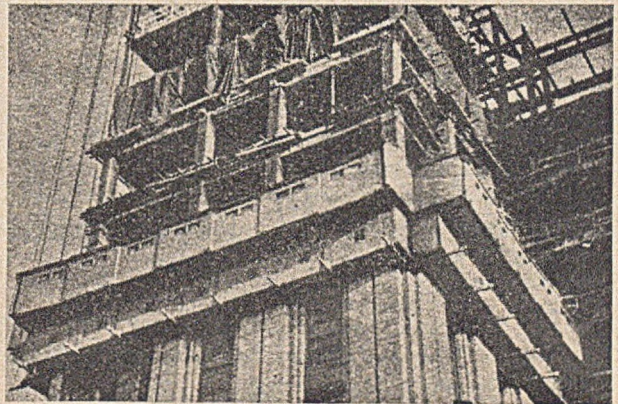
Rys. na okładce przedstawia „okrągłą salę“, z której schodzi się po widocznych tu elektrycznych schodach ruchomych do kolejki podziemnej w Moskwie na stacji „Taganskaja“.



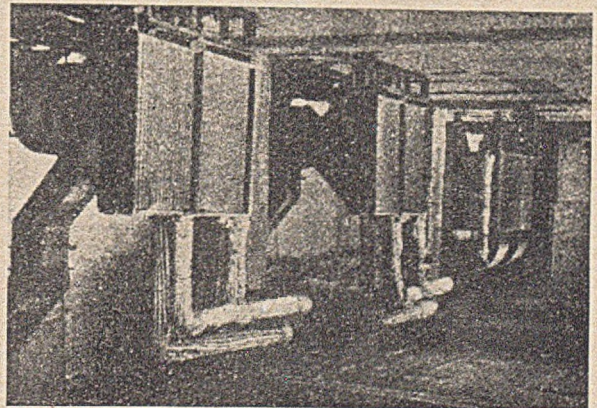
Rys. 3. Nagrzewanie betonu w celu umożliwienia wykonywania prac betonowych w okresie zimy.



Rys. 4. Komora ocieplająca ogrzewana elektrycznie.



Rys. 5. Komory ocieplające podczas pracy; wyżej osłonięte brezentem miejsca budowy, gdzie nagrzewa się elektrycznie świeżo nałożony beton.



Rys. 6. Elektryczne grzejniki obsługujące komory ocieplające

Jak widzimy z tego pobieżnego przeglądu elektrotechnika daje zarówno w budownictwie, jak i w życiu codziennym usługi oraz wywiera coraz to większy wpływ na kształtowanie się nowych form architektonicznych. (Nowyja dostiżjenja sowietskiej architektury. N. P. B y l i n k i n. Czlien korespondient Akademii Arch. SSSR. Stroitelstwo wysotnowo zdanija na Smolenskoj ploszczadi. Fotoreportaż W. A. Marytnow. Gorodskoje choziajstwo Moskwy. Zeszyt 3/1950).

Skrzynka techniczna.

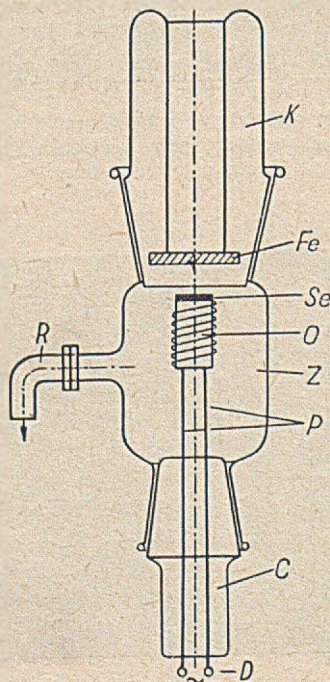
Staszczak Zdzisław, uczeń lic. el. w Lublinie. — Pytanie. Uprzejmie proszę o podanie mi sposobu wykonania prostowników stykowych (kuprytowych, względnie selenowych), które są bardzo wygodne w użyciu i mają szerokie zastosowanie. Do dyspozycji posiadam warsztat i laboratorium szkolne.

Odpowiedź. Budowa prostowników miedziawych (kuprytowych) i selenowych jest na ogół prosta, jednak sposoby wykonania obu typów są różne.

Prostowniki miedziawe.

Płytkę wykonaną z miedzi elektrolitycznej podgrzewa się do temperatury 1050 °C w piecu elektrycznym. W takich warunkach na powierzchni miedzi tworzy się szklista powłoka tlenku miedziawego (Cu_2O). Następnie płytkę chłodzi się w sposób nagły. Przy chłodzeniu płytki istnieje tendencja przejścia tlenku miedziawego w tlenek miedziowy (CuO), a więc utlenienia się utworzonej powłoki. Jak wykazują doświadczenia warstewka tlenku miedziowego nie posiada żadnych właściwości prostujących, toteż należy przeciwdziałać jej powstawaniu. W tym celu podgrzaną do właściwej temperatury płytkę należy ochłodzić bardzo szybko i umiejętnie.

Następnie po ochłodzeniu płytki poleruje się powłokę, aby zdjąć nadmiar tlenku miedziawego i ewentualnie utworzonej na jego powierzchni cienkiej warstewki tlenku miedziowego i w taki sposób uzyskać na płycie bardzo cienką i równomierną powłokę tlenku miedziawego. Wreszcie naprasowuje się na powłokę tlenku pierścien z ołowiu, który służy jako elektroda doprowadzająca prąd do prostownika.



Rys. 1. Urządzenie do wyrobu prostowników selenowych. Z — zbiornik szklany; Se — płytka selenowa; O — uzwojenie oporowe ogrzewające; D — zaciski doprowadzenia prądu do uzwojenia oporowego; P — przewody doprowadzające prąd; C — korek dolny; R — rurka łącząca zbiornik z pompą próżniową; K — korek górny; Fe — płytka żelazna.

Prostowniki selenowe.

Urządzenie do wyrobu prostowników selenowych jest przedstawione schematycznie na rys. 1.

W zbiorniku szklanym Z umieszcza się kawałek selenu Se, który podgrzewa się za pomocą uzwojenia oporowego O zasilanego prądem elektrycznym z zacisków D. Prąd doprowadza się do uzwojenia oporowego za pomocą przewodów P, wtopionych w szlifowany korek dolny C.

Zbiornik Z jest połączony przez rurkę R z pompą próżniową, której zadaniem jest usunięcie znajdującego się w zbiorniku powietrza w takim stopniu, aby uzyskać prężność rzędu stutysięcznych milimetra słupa rtęci, czyli ok. dziesięciomilionowych części atmosfery.

Selen podgrzany do temperatury parowania osadza się cienką warstwą na płycie żelaznej Fe, umieszczonej w wydrążonej części górnego korka szlifowanego K.

Po uzyskaniu powłoki selenowej o odpowiedniej grubości, co należy wypośrodkować przy pomocy doświadczeń, płytkę wyjmuje się z urządzenia. Jako elektrody odprowadzającej prąd z prostownika selenowego używa się albo warstwy srebra naniesionej elektrolitycznie na powłokę selenową, albo też podobnie jak w prostowniku miedziawym — naprasowanego na powłokę pierścienia z ołowiu. (bi)

WYDAWNICTWA

Nakładem przedsiębiorstwa „Państwowe Wydawnictwa Techniczne“ ukazała się ostatnio książka inż. Bronisława Lisapł. „Straty energii w sieciach elektrycznych“. Praca ta podaje szczegółową analizę strat przy przesyłaniu, przetwarzaniu i rozdzielaniu energii elektrycznej, sposoby ustalania strat i środki ich zwalczania. Prócz strat technicznych, związanych z przepływem energii, omówione zostały w ostatniej części książki tzw. straty handlowe, wynikające z braku pomiaru energii, z błędów przy połączeniach liczników, z niedociągnięć w ewidencji i obsłudze odbiorców oraz z kradzieży energii.

Książka ta posiada w ustroju gospodarki społecznej specjalną wagę, ponieważ w ustroju tym walka z marnotrawstwem energii wysuwa się na jedno z czołowych miejsc. Uzasadnia się to tym, że energia jest dobrem całego społeczeństwa, powinna więc być użytkowana jak najracjonalniej.

Autor omawia w czterech pierwszych rozdziałach ogólne straty energii w sieciach oraz metody ich pomiaru. Najważniejszym jest rozdział piąty omawiający szczegółowe źródła i analizę strat energii dla zakładu elektrycznego oraz projekt kampanii o zmniejszenie strat.

Autor zaopatrzył książkę licznymi tablicami, wykresami i przykładami obliczeń, co nadaje jej charakter przystępnego i praktycznego podręcznika nie tylko dla energetyków, lecz i dla wszystkich elektryków mających do czynienia z prądami silnymi.

Format książki — A 5, stron — 135, cena — zł 500.