

Przewody.

143. Wstęp.

Przewody do prądu elektrycznego są prawie wyłącznie miedziane. Miękką miedź stosujemy dla takich przewodów, w których wytrzymałość mechaniczna ma znaczenie podrzędne, a twardą dla przewodów mechanicznie obciążonych. Przez dodanie do miedzi czystej trochę fosforu lub krzemu otrzymujemy bronz fosforowy lub krzemowy, z którego wyciągamy mocne druty. Oprócz miedzi stosujemy czasem glin (aluminium)—biały lekki metal. Na kolejach elektrycznych jako przewody służą szyny stalowe. Wyjątkowo w czasach wojennych stosowano przewody cynkowe i żelazne. Oporność przewodnika, którego długość jest 1 metr, a przekrój poprzeczny — 1 mm.² wynosi:

| | |
|-------------------|---------------------|
| z miedzi miękkiej | — 0,0172 Ω , |
| z miedzi twardej | — 0,0175 Ω , |
| z glinu | — 0,028 Ω , |
| z cynku | — 0,062 Ω , |
| z żelaza | — 0,140 Ω . |

W celu uniknięcia odpływu prądu do przedmiotów otaczających, albo jak mówimy zwykle, do ziemi, wszystkie przewody są odosobnione czyli izolowane. Wyjątek stanowią szyny kolejowe i druty, łączące je pomiędzy sobą, a także w niektórych urządzeniach przewody zerowe.

Izolację stosujemy rozmaita zależnie od tego, kędy wypada przeciągnąć przewody. Zwykle rozróżniamy przewody napowietrzne, wewnętrzne i podziemne*)

144. Przewody napowietrzne.

Przewody napowietrzne najczęściej są gołe, wyjątkowo tylko, gdy są narażone na nieprzewidziane zetknięcie się z innymi drutami lub metalowymi przedmiotami, stosujemy przewody izolowane plecionką przesyconą minią z olejem lnianym. Jest to izolacja wytrzymała na czynniki atmosferyczne.

Druty, których przekrój nie przewyższa 16 mm.^2 , zazwyczaj są pełne, w przecięciu okrągłe. Przewody grubsze związane są z cienkich drutów w odpowiedniej liczbie w celu zapewnienia giętkości.

Bardzo rzadko stosują się przewody pojedyncze o przekroju większym od 120 mm.^2 . Gdy potrzebny jest przewód grubszy od 120 mm.^2 , a nawet czasem już od 95 mm.^2 , to prowadzimy kilka cieńszych przewodów połączonych równolegle, a suma przekrojów tych przewodów równa się całemu przekrojowi, potrzebnemu dla prowadzenia prądu.

Ze względu na wytrzymałość mechaniczną przewodów napowietrznych, zwykle nie stosujemy drutów o przekroju mniejszym od 6 mm.^2 i to tylko przy urządzeniach elektrycznych o napięciu, nie przewyższającym 250 woltów pomiędzy przewodami i ziemią w razie uziemiania jednego z przewodów. Przy napięciach wyższych nie należy stosować przewodów gołych, cieńszych od 10 mm.^2 .

Przewody napowietrzne zawieszamy

Rys. 341.



Rys. 342.

*) Szczegółowe wskazówki dotyczące ustroju i zakładania przewodów urządzeń elektrycznych znajdują się w „Przepisach budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego” wydanych przez Polski Komitet Elektrotechniczny.

na izolatorach porcelanowych z podwójnym płaszczem. Płaszcz ten zapewnia dobrą izolację przewodu od haka, na którym jest osadzony izolator, rys. 341. Wewnętrzna powierzchnia płaszczy pozostaje zawsze suchą i w ten sposób unika się spływania elektryczności do haka.

Na haku żelaznym osadzamy izolator, owijając koniec haka pakułami, zamoczonemi w oleju lnianym. Pakuły należy owijać zawsze w kierunku zakręcania izolatora.

Haki z izolatorami zamurowują się lub też wkręcają się do drzewa. Na rys. 341 mamy hak z ostrym gwintem dla wkręcania do drzewa. Na rys. 342 widzimy hak z rozplaszczonym i skręconym końcem — do zamurowania w ścianie.

Gdy izolator wypadnie umocować na żelaznym kątowniku lub ceówce, to osadzamy go na prostym lub zakrzywionym trzpieniu zaopatrzonym w gwint i dwa naśrubki z podkładkami, rys. 343. Za pomocą tych naśrubków umocowujemy trzpień na kątowniku lub ceówce.

Stosownie do grubości drutu i wysokości napięcia izolatory mają różne wymiary. Im druty są grubsze i napięcie wyższe, tem większy musi być izolator.



Rys. 343.



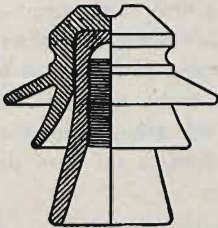
Rys. 344.

Na rys. 344 widzimy częściowo w przekroju kształt izolatora z dwoma płaszczami, który może być stosowany do napięć sięgających nawet 2000 woltów.

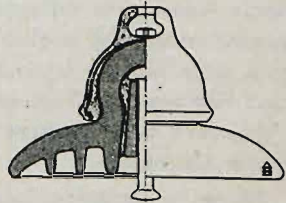
Dla napięć wyższych powiększamy liczbę płaszczy i zmieniamy nieco kształt, tak jak to widzimy na izolatorze rys. 345.

Tu mamy trzy płaszcze, które znacznie wydłużają drogę pomiędzy przewodem a trzpieniem po powierzchni porcelany. Takie izolatory stosowane są przy prądach do kilkudziesięciu tysięcy woltów napięcia.

Przy napięciach jeszcze wyższych używamy izolatorów łańcuchowych składających się z szeregu talerzyków porcelanowych, zawieszonych jeden nad drugim za pomocą izolowa-

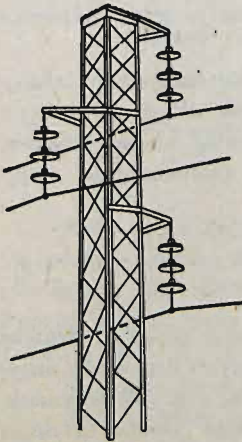


Rys. 345.

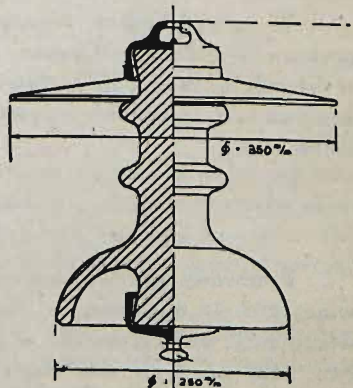


Rys. 346.

nych prętów żelaznych rys. 346. Przewód zawieszamy u dołu a u góry najwyższy izolator przymocowujemy do belki poziomej, przytwierdzonej na słupie, jak na rys. 347.



Rys. 347.



Rys. 348.

Im wyższe mamy napięcie prądu, tem więcej talerzy zawieszamy w jednym łańcuchu i większe bierzemy talerze.

Zamiast izolatorów talerzowych teraz często są stosowane izolatory porcelanowe dwukołpakowe rys. 348 z porcelanowym trzonem, które są wytrzymalsze na przebicie prądem.

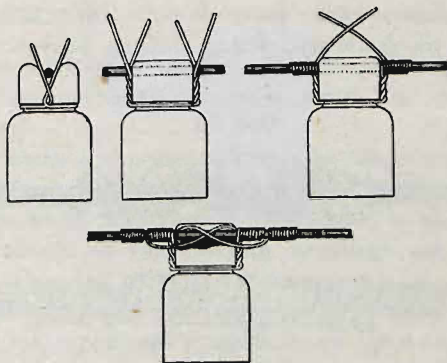
Odległość pomiędzy przewodami różnych biegunów nie może być mniejsza od 300 mm. przy napięciach prądu nie przewyższających 250 woltów względem ziemi. Gdy prąd ma napięcie wyższe, to odległość pomiędzy przewodami różnych biegunów musi być większa i nie może wynosić mniej od 600 mm., a przy bardzo wysokich napięciach musi wynosić więcej niż 600 mm. Odległość przewodów od ziemi nie może być mniejsza od 5 m przy napięciu niskim, a od 6 m przy napięciu wysokim.

Słupy w urządzeniach niskiego napięcia są najczęściej drewniane, ustawione na odległości kilkudziesięciu metrów jeden od drugiego.

Długość słupa wynosi zwykle 8 do 12 metrów, piątą lub czwartą część, zależnie od rodzaju gruntu, zakopuje się do ziemi. Najmniejsza grubość górna pojedynczego słupa przy niskim napięciu prądu — 120 mm, a przy napięciu wysokim — 150 mm.

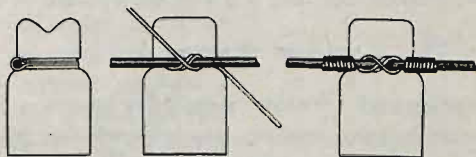
W urządzeniach wysokiego napięcia ustawiamy słupy grubsze i wyższe. Często stosowane są słupy podwójne w kształcie litery A. Ustawiają się również słupy żelazne, kratowe. W ostatnich czasach znalazły zastosowanie słupy żelbetowe.

Przewody przywiązujemy do izolatorów cienkim drutem wiązałkowym miedzianym. Na linjach prostych przewody przywiązujemy we wgłębieniu u góry izolatora, tak, jak wskazuje rys. 349, na tych zaś słupach, gdzie linja zbacza z drogi prostej, przewody przymocowujemy na izolatorach z boku,



Rys. 349.

według rys. 350. Przy wiązaniu bocznym należy pilnie uważać, aby drut **opierał się na izolatorze** a nie wisiał na podwieszce. W tym celu izolator musi znajdować się wewnątrz kąta, utworzonego przez zboczenie drogi.



Rys. 350.

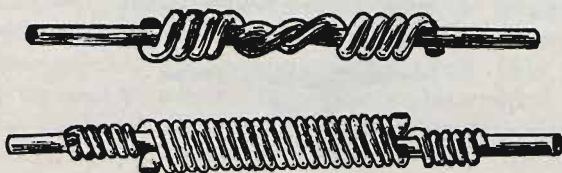
Połączenie cienkich przewodów pomiędzy sobą odbywa się przez szczelne skręcenie, rys. 351, środkowa część skrętów lutuje się. Druty grube łączą się inaczej: końce trzeba troszkę zagiąć, przyłożyć szczelnie do siebie i mocno owinąć cienkim drutem rys. 352.

Pozatem stosują się specjalny rurki i skówki łączeniowe.

Przy każdymłączeniu drutów przewodzących prąd, końce ich należy starannie oczyścić papierem szklanym i wytrzeć ściereczką umoczoną w benzynie. Lutowanie wiązania najlepiej

uskutecznić zapomocą stopu z dwóch części ołowiu i jednej części cyny, na kalafonji, która dobrze oczyszcza powierzchnię drutów.

Rys. 351.



Rys. 352.

Dla zapewnienia prawidłowego przepływu prądu połączenie przewodów musi być wykonane bardzo dokładnie. Jeżeli cyna nie przeniknęła wszędzie i zlutowano tylko przewody na małej części powierzchni styku, to przy silnym prądzie, skutkiem znacznej oporności spojenia, powstanie wielka ilość ciepła i złącze zacznie się rozlutowywać.

Przy naciąganiu drutów pomiędzy dwoma izolatorami należy zwracać baczną uwagę na odpowiedni zwis drutów, tem większy, im cieplejszą mamy porę. W kalendarzach elektrotechnicznych i podręcznikach monterskich, są dokładne wskazówki jaki zwis należy stosować dla danej grubości drutu, danej odległości pomiędzy słupami i danej temperatury powietrza przy wykonywaniu zawieszania drutów.

Szczegóły dotyczące prowadzenia linii napowietrznych znajdują się w rozporządzeniu Ministra Robót Publicznych z dn. 6 lipca 1923 r. pod tytułem „Przepisy techniczne na linie elektryczne napowietrzne“.

145. Odgromniki na przewodach napowietrznych.

Linje napowietrzne trzeba zabezpieczyć odpowiednimi przyrządami od zgubnych skutków działania elektryczności atmosferycznej.

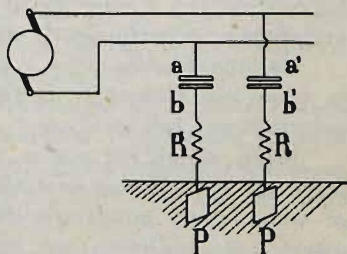
W powietrzu i w chmurach zawsze jest pewna ilość elektryczności, która może przejść na przewód izolowany od ziemi lub w tym przewodzie wywołać przez wpływ skupienie elektryczności, która była rozproszona przedtem po przewodzie na znacznej długości.

Wszelkie skupienie elektryczności wywołuje podniesienie się napięcia elektrycznego i może łatwo spowodować przebicie izolacji: zdarza się przebicie izolatorów na linji lub też izolacji maszyn w elektrowni.

Przyrządy zabezpieczające urządzenia elektryczne od elektryczności atmosferycznej, nazywamy **odgromnikami**.

Odgromniki mają rozmaitą budowę, ogólna jednak zasada dla wszystkich jest jednakowa.

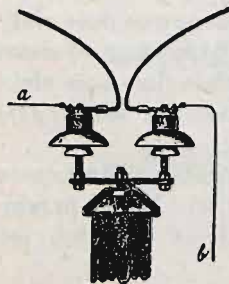
Każdy odgromnik składa się z dwóch przewodników metalowych, oddzielonych od siebie cienką warstwą powietrza. Na rys. 353 widzimy odgromniki, połączone z linją przewodów. Na każdym przewodzie ustawiamy po jednym niezależnym odgromniku.



Rys. 353.

Płytki metalowe a i a' są połączone z przewodami, płytki zaś b i b' przez oporniki R z dużymi płytami metalowymi P i P' zakopanymi w ziemi. Kiedy na przewodach, skutkiem skupiania elektryczności powstanie znaczne napięcie względem ziemi, to prąd elektryczny przebija warstwę powietrza, pomiędzy płytkami i elektryczność przez iskrę lub łuk krótkotrwały spłynie do ziemi. Oporniki R zabezpieczają przewody od krótkiego zwarcia przez iskry, które czasem powstają jednocześnie w obu odgromnikach.

Odgromniki najczęściej używane bywają płytkowe, walcowe i rożkowe. Na rys. 354 przedstawiony jest odgromnik rożkowy. Na izolatorach umocowane są dwa rożki wygięte z grubego drutu miedzianego. Jeden z nich za pomocą przewo-



Rys. 354.

dnika *a* łączymy z przewodem linjowym prowadzącym prąd roboczy, a drugi przewodnikiem *b* przez opór z płytą ziemną. Łuk, powstający pomiędzy rożkami u dołu, pod wpływem prądu gorącego powietrza, unosi się do góry, wydłuża się i przerywa. Działanie mechaniczne prądu w rożkach na łuk również sprzyja podnoszeniu się łuku do góry. Odległość pomiędzy rożkami przystosowujemy do napięcia roboczego prądu. Im wyższe

jest napięcie, tem szerzej rozstawiamy rożki.

Oporniki *R*, rys. 353 są zwykle zrobione z pałeczek przygotowanych z mieszaniny węgla i krzemu (silitu) lub rur kamiennych, wypełnionych słabym roztworem sody.

Najlepsze połączenie z ziemią osiąga się przez zaciśnięcie przewodu ziemnego na skówce, przymocowanej do rury wodociągowej lub gazowej.

Jeżeli takich rur niema, to przewód ziemny należy przyłączyć do specjalnego uziemienia. Jako dobre uziemiacze służyć mogą: płyty miedziane dwumilimetrowe, lub żelazne cynkowane czteromilimetrowe, mające jednostronną powierzchnię równą $0,5 \text{ m}^2$, a więc np. przy długości jednego metra mające szerokość pół metra. Zamiast płyt można stosować rury lub pręty żelazne wbite do ziemi.

Najlepsze uziemienie otrzymujemy, gdy grunt jest stale wilgotny, więc dla osiągnięcia stale wilgotnego gruntu najlepiej płyty, rury i pręty umieszczać w ziemi w położeniu pionowym.

Gdy grunt wilgotny jest zbyt głęboko, a w górnych warstwach suchy, to zamiast płyt i rur lepiej zakładać płytko pod ziemią druty rozwidłone ogólnej długości kilkunastu metrów.

Płyty, rury i pręty ziemne łączą się z odgromnikami za pomocą drutów miedzianych o przekroju od 6 do 16 mm.², albo linek żelaznych cynkowanych, o średnicy conajmniej 5 mm.

Odgromniki ustawiamy w urządzeniach elektrycznych przy wejściu przewodów do budynków i przy przejściu przewodu napowietrznego w przewód podziemny, a także na długich linjach napowietrznych co kilkaset metrów.

146. Przewody wewnętrzne.

Wewnątrz budynków prawie wyłącznie stosowane są przewody izolowane. Przewody gołe prowadzimy tylko wyjątkowo w budynkach niezamieszkałych, w warsztatach, elektrowniach, w fabrykach i t. p. Przy prowadzeniu takich drutów należy uważać, aby od ścian i wszystkich przedmiotów otaczających przechodziły one przy niskim napięciu na odległości conajmniej 5 centymetrów. Jeżeli w powietrzu mogą powstać pary i gazy, nagryzające miedź, to przewody gołe należy pomalować odpowiednią farbą, np. lakierem emaljowym.

Druty izolowane mają różny ustrój.

Przewodnik w odzierzy włóknistej ma żyłę miedzianą owiniętą podwójnie taśmą papierową i oplecioną bawełną nasyoną minją, stosowany jest tam, gdzie przewody wymagają ochrony od wpływów chemicznych. Zawiesza się ten przewodnik tak samo jak goły.

Przewodnik ogumowany stosowany do prądów o napięciu do 750 woltów ma żyłę miedzianą ocynowaną powleczoną gumą wulkanizowaną owiniętą bawełnianą taśmą nagumowaną i oplecioną nasyonym materiałem włóknistym.

W przewodnikach wielożyłowych oplecenie bywa wspólne.

Zakłada się taki przewodnik na gąłkach porcelanowych lub w rurkach w pomieszczeniach suchych i wilgotnych.

Przewodnik ogumowany jednożyłowy odporny na wpływy atmosferyczne ma żyłę miedzianą powleczoną gumą wulkanizowaną, owiniętą bawełnianą taśmą nagumowaną, która

w dalszym ciągu jest jeszcze owinięta taśmą papierową i opleciona materiałem włóknistym, nasyconym masą odporną na wpływy atmosferyczne. zakłada się ten przewodnik w pomieszczeniach z wyziewami zżarającymi.

Przewodnik ogumowany na wysokie napięcie ma wielokrotną warstwę gumy wulkanizowanej i może być stosowany dla prądów o różnych napięciach do 15000 woltów zależnie od grubości powłoki gumowej.

Przewodnik płaszczowy ma żyłę miedzianą ocynowaną powleczone gumą wulkanizowaną, owiniętą bawełnianą taśmą nagumowaną pokrytą warstwą włóknistą. Jedną lub kilka takich żył izolowanych otacza obcisły płaszcz metalowy.

Przewodnik płaszczowy może być zakładany wprost na tynku lub na drzewie w urządzeniach niskiego napięcia.

Przewodnik pancerny ma żyłę miedzianą ocynowaną, powleczone gumą wulkanizowaną wielowarstwową, owiniętą taśmą bawełnianą nagumowaną i pokrytą warstwą włóknistą wytrzymałą mechanicznie. Jedną lub kilka takich żył otacza pancerz z drutów metalowych zabezpieczonych od rdzy.

Przewodnik taki wolno zakładać na stałe wprost na ścianach, sufitach, konstrukcjach żelaznych w urządzeniach o napięciu do 1000 woltów. Nadaje się on tam gdzie izolacja przewodów umocowanych na stałe może być narażona na uszkodzenie mechaniczne.

Przewodniki do odbiorników przenośnych mają żyły z cienkich drucików miedzianych, giętkie, izolowane gumą wulkanizowaną i zabezpieczone od uszkodzeń mechanicznych, szczególnie ustroju bywają różne zależnie od przeznaczenia.

Przewodnik świecznikowy ma żyłę miedzianą ocynowaną, o przekroju 0,5 lub 0,75 mm², powleczone gumą wulkanizowaną i oplecioną warstwą materiału włóknistego, w przewodnikach dwużyłowych opłot bywa wspólny.

Taki przewodnik stosuje się wyłącznie do przeciągania wewnątrz rurek i oprawek świecznikowych.

Sznur zwieszakowy ma żyły miedziane ocynowane o przekroju 0,75 mm², oprzędzone bawełną i powleczone warstwą gumy wulkanizowanej.

Dwie takie żyły izolowane razem ze szpagatem oplata się wspólnie. Zamiast szpagatu bywa stosowana linka metalowa oprzędzona.

Sznur taki używa się tylko do zawieszania lamp. Lampa zawiesza się na szpagacie lub lince metalowej tego sznura, żyły miedziane muszą być prowadzone luźno.

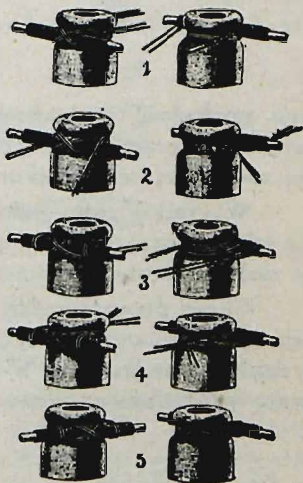
Wewnątrz budynków, dla prowadzenia silnych prądów, bywają nieraz zakładane również kable obołowione ustroju tego samego jaki ma zastosowanie do przewodów podziemnych patrz str. 389.

Druty izolowane zawieszamy na rolkach, czyli gałkach porcelanowych, przywiązując je drutem miedzianym cynowanym, tak jak wskazuje rys. 355.

W mieszkaniach zupełnie suchych gałki mogą być małe i niskie, natomiast w piwnicach wilgotnych, pralniach i t. p. używamy gałek wysokich z odpowiednimi płaszczami. Gałki umocowujemy na ścianach i sufitach za pomocą śrub lub tak zwanych dybli czy też kołków.

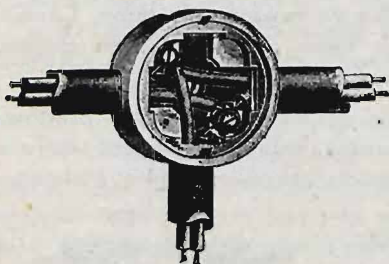
W celu osłonięcia przewodów i zabezpieczenia od uszkodzeń mechanicznych, przeciągamy je przez rurki izolacyjne, które mają ścianki podwójne: wewnątrz z papieru przesyconego smołą, a zewnątrz — z blachy mosiężnej czy też żelaznej obołowionej lub lakierowanej. Są także rurki, tak zwane, stalowo-pancerne; stanowią one rurkę stalową, wyłożoną w środku warstwą izolacyjną.

Przewodniki izolowane gumą wulkanizowaną można przeciągać także w rurkach metalowych bez izolacji.



Rys. 355.

Rurki do przewodów elektrycznych są wyrabiane zazwyczaj w kawałkach długości 3 metrów i łączą się pomiędzy sobą za pomocą mufek i pudełek rozgałęzieniowych, rys. 356, lub



Rys. 356.

kolanek. Układamy rurki na tynku lub pod tynkiem; w tym drugim przypadku wyłabiamy rowki takiej głębokości, aby rurka schowała się w nich zupełnie. Rurki przymocowujemy do ściany skobelkami. Przy układaniu rurek na ścianach należy zawsze mieć na względzie, aby miały

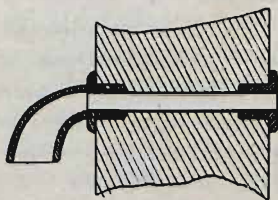
one pochyłość w kierunku pudełek rozgałęzieniowych, lub innych otworów, kędy mogłaby wypływać woda, która zbiera się nieraz w rurkach skutkiem skraplania się pary.

Wszystkie rurki należy umocować bez drutów. Dopiero po ich zamocowaniu i zupełnem wyschnięciu tynku, zakładać w rurkach druty, przeciągając je za pomocą sztywnej sprężyny.

Chcąc przeprowadzić linię przewodów przez ścianę, przebijamy w ścianie okrągły otwór, za pomocą rurki stalowej z ząbkami na końcu. W otworze tym zakładamy zazwyczaj rurkę kauczukową z nasadzonymi na końcach tulejkami por-



Rys. 357.



Rys. 358.

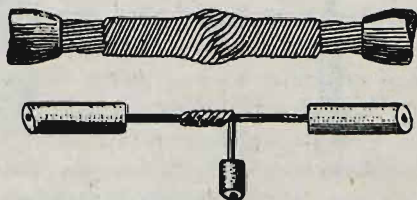
celanowemi, rys. 357. W miejscach przebicia poprawiamy tynk gipsem, zważając na to, aby końce tulejek wystawały nieco nad powierzchnię ściany. Jeżeli przewodnik wychodzi

na zewnątrz budynku, to ze strony zewnętrznej, zamiast tulejki, nasadzamy fajkę porcelanową, rys. 358.

Przez rurki druty przeciągamy zawsze swobodnie. Jeżeli przewodniki są umocowane na gałkach, każdy oddzielnie, to również oddzielne rurki zakładamy przy przejściach przez ściany sufit i podłogę. Przy przeprowadzeniu przewodów przez podłogi, rurkę izolacyjną umieszczamy wewnątrz żelaznej rurki gazowej. Rurka żelazna powinna wystawać nad podłogę co najmniej na wysokość 10 centymetrów.

Połączenie, czyli wiązanie drutów przewodowych pomiędzy sobą uskuteczniamy rozmaicie, zależnie od grubości drutu. Druty cienkie, do 2 mm. średnicy, skręcamy tak, jak

Rys. 359.



Rys. 360.

napowietrzne, rys. 351. Druty pełne — grube przykładamy do siebie końcami i owijamy cienkim drutem miedzianym cynowanym rys. 352. Przy łączeniu przewodów, utworzonych z pęczka cienkich drutów zwiniętych razem, wycinamy druciki środkowe, a resztę przewijamy, przeplatając tak, jak wskazuje rys. 359. Przy odgałęzieniu, cienki drut nawijamy tak, jak wskazuje rys. 360 lub też rysunki 361 i 362.

Grube druty odgałęziamy przy pomocy drutu cienkiego. Najlepiej jednak w tym razie stosować odpowiednie klamerki, ściskane mocno za pomocą śrub. Klamerki i mufki ze śrubami można stosować również przy łączeniu grubych przewodów.

Przed skręceniem druty zawsze należy starannie oczyścić papierem szklonym i benzyną, a po skręceniu dokładnie zlutować i zbyteczną cynę z wierzchu usunąć. Najlepiej luto-

wać cyną na kalafonji. Po zlutowaniu miejsce gołe należy zaizolować bawełnianą taśmą gumowaną. Na przewodnikach z izolacją gumową wulkanizowaną wypada miejsca spojenia izolować dokładniej, stosując rurki gumowe, albo przynajmniej nawinięcie podwójne z taśmy bawełnianej gumowanej.



Rys. 361.



Rys. 362.

Łączenie i odgałęzienie przewodników, utworzonych z wielu cienkich drucików, wykonywamy za pomocą zacisków śrubowych. Bezpośrednie lutowanie jest niepraktyczne, gdyż cienkie druciki łatwo spalić. Zaciski śrubowe umieszczone są na porcelanowych płytkach, które nazywamy zwykle rozetkami, rys. 356. Końce żył, przeznaczonych do zakładania pod śrubki, oblutowują się przez pogrążenie w roztopionej cynie, po uprzednim oczyszczeniu i posypaniu proszkiem z kalafonji.

147. Przewody podziemne.

Pod ziemią układamy przewody w kształcie kabli. Najczęściej stosujemy kable opancerzone. Na rys. 363 widzimy poszczególne warstwy na jednym z takich kabli.

Wogóle wyróżniamy cztery gatunki kabli.

Kable obołowione gołe mają żyły miedziane izolowane papierem nasyconym lub gumą wulkanizowaną, a zewnątrz

szczelny płaszcz ołowiany. One mogą być zakładane wszędzie, gdzie niema obawy o szkodliwe wpływy chemiczne i mechaniczne.



Rys. 363.

Kable obołowione asfaltowane mają na powłoce ołowianej nasyconą taśmę papierową i na wierzchu obwój z materiału włóknistego nasyconego asfaltem. Takie kable są wytrzymałe na szkodliwe wpływy chemiczne.

Kable obołowione asfaltowane i opancerzone taśmą mają na powłoce ołowianej taśmę papierową nasyconą, dalej warstwę materiału włóknistego nasyconego asfaltem, następnie opancerzenie taśmą żelazną, a na wierzchu jeszcze raz obwój materiałem włóknistym nasyconym asfaltem.

Takie kable są wytrzymałe na wpływy szkodliwe chemiczne i mechaniczne, skierowane wpoprzek kabla, natomiast nie są wytrzymałe na zerwanie.

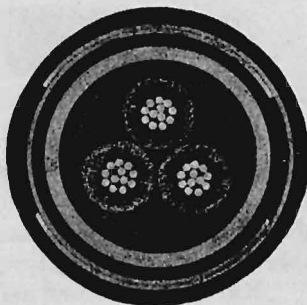
Kable obołowione asfaltowane i opancerzone drutami stalowymi są wytrzymałe na zerwanie i używają się dla układania na dnie rzek i w kopalniach.

Prądy zmienne można prowadzić tylko kablami wielożyłowymi, tak aby w każdej chwili suma prądów, płynących w jedną stronę, była równa sumie prądów, płynących w stronę przeciwną, bo tylko wtedy unikniemy silnych prądów wirowych w powłoce ołowianej i żelaznej. Na rys. 364 widzimy przekrój kabla dwużyłowego, a na rys. 365 trójżyłowego. W kablu na rys. 364 oprócz przewodów głównych mamy jeszcze tak zwane przewody probiercze, za pomocą których woltomierz w elektrowni przyłączamy do punktów zasilających sieci. Stosownie do napięcia prądu, kable mają rozmaite izolacje. Izolacja wskazana na rys. 364, wystarcza tylko dla prądów o napięciu do 700 woltów. Są jednak jeszcze kable

z izolacją do 1000, do 3000 a nawet do 30000 woltów i więcej. W kablach na wysokie napięcie przewody miedziane owijają się kilkoma warstwami mocnego przetłuszczonego papieru.

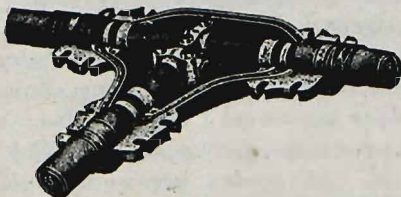
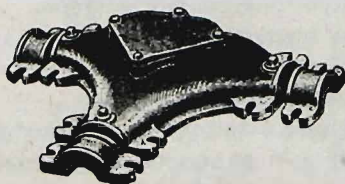


Rys. 364.



Rys. 365.

Rys. 366.



Rys. 367.

Połączenia i odgałęzienie kabli uskuteczniamy za pomocą zacisków śrubowych w skrzynkach kablowych. Na rys. 367 widzimy skrzynkę kablową bez pokrywki, pokrywkę zaś

u góry na rys. 366. Po wykonaniu połączenia skrzynkę zakrywamy i przez odpowiedni otwór wypełniamy roztopioną masą izolacyjną.

W ziemi układamy kable opancerzone na głębokości od 0,5 do 0,75 metra w rowie którego dno wyrównujemy, posypując warstwą piasku. Po ułożeniu kabla przykrywamy go rzędem cegieł, położonych na płask, następnie rów przysypujemy ziemią. Przy przejściach w poprzek dróg lub ulic kable zakładamy w odpowiednich rurach żelaznych. Zwykle kable asfaltowe bez żelaznego pancerza można kłaść tylko w murowanych z cegły czy też betonowych kanałach, w rurach kamionkowych i t. p. Kable należy układać **bardzo ostrożnie**, unikając zgięć ostrych i zabezpieczając dokładnie końce od wilgoci.

148. Przekrój przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną.

Aby uniknąć łatwego zerwania przewodu, praktycy ustalili następujące najmniejsze przekroje w urządzeniach elektrycznych.

Przewodniki przeciągane w rurkach świeczników i we wszelkich oprawkach, lub zakładane na nich 0,5 mm²

Przewodniki zwieszakowe i przewodniki lekkie w oponie gumowej 0,75 mm²

Przewodniki zwykłe do przenośnych odbiorników prądu 1 mm²

Przewodniki izolowane, zakładane na stałe w rurkach i przewodniki płaszczone 1 mm²

Przewodniki izolowane, zakładane na stałe na gałkach: jeżeli odległość punktów zamocowania nie jest

większa niż 1 m. 1,5 mm²

niż 2 m. 2,5 mm²

jeżeli odległość punktów zamocowania jest większa od 2 m. 4 mm²

Przewodniki gołe pod dachem lub pod gołym niebem, jeżeli punkty podparcia odległe są od siebie nie więcej niż o 20 m. 4 mm²

Przewodniki napowietrzne zawieszone w ten sposób, że odległość punktów podparcia pomiędzy sobą nie przekracza 35 m. i prąd jest niskiego napięcia 6 mm²

Przewody napowietrzne w innych przypadkach np. dla prądu o wysokim napięciu 10 mm²

Wyniki wszystkich obliczeń przekrojów przewodów muszą być sprawdzane według powyższych wskazówek i w razie niezgodności powiększane.

149. Przekrój przewodów ze względu na zagrzewanie się.

Każdy przewód musi być przystosowany do natężenia prądu, który ma w nim przepływać. Przewód nie powinien nadmiernie zagrzewać się. Stosownie do powyższego warunku, na podstawie odpowiednich doświadczeń, zostały ułożone tablice, wskazujące, jakim prądem można obciążać przewody.

Przedewszystkiem podajemy tablicę dla wszystkich miedzianych przewodów izolowanych za wyjątkiem kabli podziemnych. Oprócz największego natężenia prądu dla każdego przekroju drutu, podajemy normalne natężenie prądu bezpiecznika*), który należy wprowadzić w obwód dla ochrony przewodu od przeciążenia prądem.

*) Patrz rozdział o bezpiecznikach.

| Przekrój w milimetrach kwadratowych. | Największe natężenie prądu w amperach. | Normalne natężenie prądu bezpiecznika w amperach. |
|--|--|---|
| 0,5 | 7,5 | 6 |
| 0,75 | 9 | 6 |
| 1 | 11 | 6 |
| 1,5 | 14 | 10 |
| 2,5 | 20 | 15 |
| 4 | 25 | 20 |
| 6 | 31 | 25 |
| 10 | 43 | 35 |
| 16 | 75 | 60 |
| 25 | 100 | 80 |
| 35 | 125 | 100 |
| 50 | 160 | 125 |
| 70 | 200 | 160 |
| 95 | 240 | 190 |
| 120 | 280 | 225 |
| 150 | 325 | 260 |
| 185 | 380 | 300 |
| 240 | 450 | 350 |
| 300 | 525 | 430 |
| 400 | 640 | 500 |
| 500 | 760 | 600 |
| 625 | 880 | 700 |
| 800 | 1050 | 850 |
| 1000 | 1250 | 1000 |

Obciążenia drutów izolowanych cynkowych i żelaznych są podane w przepisach bezpieczeństwa*).

Gołe przewody miedziane i żelazne można obciążać prądem według tablicy następującej:

| Przekrój w mm ² . | M I E D Ź | | Ż E Ł A Z O | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Obciążenie amp. | Bezpiecznik amp. | Obciążenie amp. | Bezpiecznik amp. |
| 2,5 | — | — | 15 | 10 |
| 4 | 55 | 35 | 20 | 15 |
| 6 | 70 | 35 | 25 | 20 |
| 10 | 95 | 60 | 34 | 25 |
| 16 | 130 | 100 | 46 | 35 |
| 25 | 170 | 125 | 60 | 35 |
| 35 | 210 | 160 | 75 | 60 |
| 50 | 260 | 190 | 92 | 60 |
| 70 | 320 | 225 | 113 | 80 |
| 95 | 385 | 300 | 136 | 100 |
| 120 | 450 | 360 | 159 | 100 |
| 150 | 500 | 360 | 180 | 125 |

Jeżeli przewody prowadzą prąd do lamp łukowych lub silników, to ze względu na nieprzewidziany wzrost prądu, należy sprawdzić przekroje przewodów według prądu przynajmniej $1\frac{1}{2}$ raza większego od pełnego dla danej lampy lub silnika.

Kable zakopane w ziemi można obciążać prądem więcej, niż zwykle przewody izolowane, a mianowicie według tablicy na str. 395.

Obciążenie kabli ułożonych w kanałach, na ścianach i zakopanych w ziemi w większej liczbie obok siebie, należy zmniejszyć do $\frac{3}{4}$ wartości, wskazanej w tablicy na str. 395.

*) Patrz „Przepisy bezpieczeństwa dla urządzeń elektrycznych o napięciu 250 V”. Warszawa 1919 r.

| Przekrój każdego przewodu w mm ² | Największy prąd w amperach w kablach ułożonych w ziemi | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------------------------------|
| | Kabel jednożyłowy do 1000 V | Kabel dwużył. skręcony do 1000 V | Kabel trójżyłowy skręcony | | | | | | | Kabel czterożyłowy skręcony 1000 V |
| | | | do 1000 V | do 3000 V | do 6000 V | do 10000 V | do 15000 V | do 20000 V | do 30000 V | |
| | | | | | | | | | | |
| 1,5 | 31 | 25 | 22 | — | — | — | — | — | — | 20 |
| 2,5 | 41 | 34 | 30 | 29 | — | — | — | — | — | 26 |
| 4 | 55 | 44 | 38 | 37 | — | — | — | — | — | 35 |
| 6 | 70 | 55 | 49 | 47 | — | — | — | — | — | 45 |
| 10 | 95 | 75 | 67 | 65 | 62 | 60 | — | — | — | 60 |
| 16 | 130 | 100 | 90 | 85 | 82 | 80 | — | — | — | 80 |
| 25 | 170 | 130 | 113 | 110 | 107 | 105 | 100 | 98 | — | 105 |
| 35 | 210 | 155 | 138 | 135 | 132 | 125 | 120 | 118 | — | 125 |
| 50 | 260 | 195 | 170 | 165 | 162 | 155 | 145 | 140 | 135 | 155 |
| 70 | 320 | 235 | 206 | 200 | 196 | 190 | 180 | 175 | 165 | 190 |
| 95 | 385 | 280 | 246 | 240 | 235 | 225 | 215 | 210 | 200 | 225 |
| 120 | 450 | 320 | 285 | 275 | 270 | 260 | 250 | 245 | 230 | 255 |
| 150 | 510 | 365 | 325 | 315 | 308 | 300 | 285 | 280 | 260 | 295 |
| 185 | 575 | 410 | 370 | 360 | 350 | 340 | 325 | 315 | 295 | 335 |
| 240 | 670 | 475 | 430 | 420 | 410 | 400 | 385 | 370 | — | 390 |
| 300 | 760 | 535 | 485 | 475 | 465 | 455 | 440 | — | — | 435 |
| 400 | 910 | 640 | 580 | 570 | — | — | — | — | — | — |
| 500 | 1035 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 625 | 1190 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 800 | 1380 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1000 | 1585 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Bezpieczniki w obwodach kablowych należy stawiać na prąd 1,25 razy mniejszy od prądu podanego w tablicy powyższej.

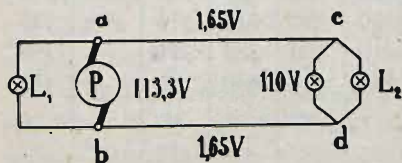
Fabryki, dostarczające przewodniki kablowe, wskazują zazwyczaj największy prąd, którym można obciążać kable, gwarantując przy tem obciążeniu dobry stan kabla.

150. Przekrój przewodów ze względu na spadek napięcia, przy obciążeniu w końcu linii.

Oprócz zagrzewania się przewodów, na wybór przekroju ma wpływ spadek napięcia w przewodach.

Prąd w elektrowni ma wyższe napięcie, niż na odbiornikach. Wzdłuż przewodów napięcie stopniowo zmniejsza się w kierunku od elektrowni do odbiorników. Im dalej od elektrowni przyłączone są lampki, tem słabiej one świecą. Największy spadek napięcia w sieci rozdzielczej lamp żarowych może wynosić 3%. Gdy sieć zasila tylko silniki, to spadek napięcia można zwiększyć do 5%, a w razie koniecznej potrzeby, nawet do 8%.

Rozważmy przykład gdy prądnica P zasila grupę lamp L_2 , znajdującą się na znacznej odległości od prądnicy, i lampę L_1 , przyłączoną prawie bezpośrednio do jej szczotek rys. 371. Jeżeli napięcie na lampach L_2 wynosi 110 woltów, to przy spadku napięcia w przewodach do lamp L_2 —3,3 wolta, co stanowi 3% od 110 woltów, na prądnicy będzie napięcie 113,3 wolta.



Rys. 371.

3,3 woltów spadku napięcia w przewodach dzieli się równo na oba przewody ac i bd , rys. 371, a więc w każdym przewodzie spadek napięcia wynosi 1,65 wolta.

Jeżeli oporność każdego z przewodów oznaczamy przez r , a prąd przepływający w tych przewodach przez I , to spadek napięcia w jednym przewodzie według prawa Ohma wyniesie:

$$v^1 = I \cdot r.$$

Lampa L_1 , bierze więc prąd przy napięciu 113,3 wolta i skutkiem tego świeci nieco jaśniej, niż lampy L_2 . Różnica jasności jest jednak niewielka, dopuszczalna w urządzeniach oświetlenia elektrycznego.

Oporność r zależy od długości drutu l i przekroju s , a także oporności właściwej w ,

$$r = w \frac{l}{s}.$$

więc:

$$v^1 = I \cdot w \frac{l}{s}.$$

Ponieważ w dla miedzi równa się $\frac{1}{57}$, więc:

$$v^1 = I \cdot \frac{1}{57} \cdot \frac{l}{s},$$

a stąd:

$$s = \frac{l \cdot l}{57 \cdot v^1}$$

Spadek napięcia w obu przewodach oznaczmy przez v wtedy, uwzględniając że:

$$v = 2 v^1$$

otrzymamy:

$$s = \frac{2 \cdot I \cdot l}{57 \cdot v}.$$

Według tego wzoru możemy obliczać przekrój drutu na właściwy spadek napięcia, gdy mamy prosty układ połączeń wskazany na rys. 371.

Przykład I. Długość każdego z przewodów ac i bd na rys. 371 wynosi po 150 metrów, a prąd, płynący do lamp L_2 —20 amperów, spadek napięcia w obu przewodach 3,3 wolta. Trzeba obliczyć przekrój przewodów.

Według wzoru powyżej wyprowadzonego otrzymamy:

$$s = \frac{2 \cdot 20 \cdot 150}{57 \cdot 3,3} = 31,9 \text{ mm}^2$$

Jeżeli przewody są napowietrzne, to przekrój otrzymany z powyższych wzorów, zaokrąglamy według tablicy na str. 394*)

*) Tablice podają te przekroje, które stosują się w handlu.

Z tej tablicy widzimy, że dla naszego przykładu są dwa równie bliskie przekroje: 25 mm^2 i 35 mm^2 . Jeżeli zależy na równej jasności lamp, pomimo częstego włączania i wyłączania, to należy wziąć przekrój większy, jeżeli zaś lokal, który oświetlają lampy, jest podrzędny i niewielkie wahania w jasności lamp nikomu nie przeszkadzają, to można zastosować drut cieńszy o przekroju 25 mm^2 , przy którym spadek napięcia wypadnie cokolwiek większy.

Otrzymane przekroje sprawdzamy jeszcze podług tablicy, str. 394, aby się upewnić, że prąd, przepływający w przewodach, nie przewyższa największego prądu, dopuszczalnego ze względu na zagrzewanie. W rozważanym przykładzie w przewodach płynie 20 amperów, a według tablicy str. 394 przez 25 mm^2 , może płynąć prąd 170 A, a przez 35 mm^2 210 amperów, więc nasz prąd jest zupełnie bezpieczny.

Przykład II. Obliczmy przekrój przewodów, prowadzących prąd z prądnicy prądu stałego do trzykonnego silnika, odległego od niej o 100 metrów. Napięcie prądu na silniku wynosi 220 woltów a spadek napięcia w przewodach 5% t. j. 11 woltów.

Przedewszystkiem obliczamy prąd, płynący do silnika, uwzględniając sprawność 0,8. Patrz str. 255.

$$I = \frac{3 \cdot 735}{0,8 \cdot 220} = 12,5 \text{ A}$$

więc, podług wyprowadzonego powyżej wzoru, otrzymamy:

$$s = \frac{2 \cdot 12,5 \cdot 100}{57 \cdot 11} = 3,75 \text{ mm}^2$$

Jeżeli przewody są wewnętrzne, to przekrój najbliższy w tablicy na str. 393 wynosi 4 mm^2 . Największy prąd przy tym przekroju dosięga 25 amperów, a silnik może brać jakiś czas około:

$$12,5 \times 1\frac{1}{2} = 18,75 \text{ A}$$

więc przekrój powyższy jest zupełnie odpowiedni.

Przykład III. Załóżmy, że ten sam silnik, o którym była mowa w przykładzie II-gim, został umieszczony bliżej prądnicy, np. na odległości 10 metrów, a spadek napięcia przyjmiemy ten sam 11 woltów. Wtedy wypadnie:

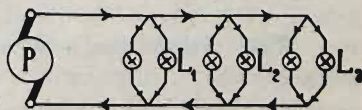
$$s = \frac{2 \cdot 12,5 \cdot 10}{57 \cdot 11} = 0,375 \text{ mm}^2$$

Tak małego przekroju w tablicy niema, bierzemy więc przekrój większy według prądu pobieranego przez silnik zwiększonego półtora raza. Tu prąd wynosi 18,75 ampera, a więc według tablicy na str. 393 wypada zastosować przekrój 2,5 mm². Ze względu jednak na znaczny prąd rozruchowy zwiększymy do 4 mm².

151. Przekrój przewodów jednostajnej grubości, przy obciążeniu w kilku miejscach.

Są układy więcej złożone, np. prądnica zasila trzy grupy lamp L_1 , L_2 , L_3 rys. 372. Taki układ można przedstawić sposobem uproszczonym rys. 373.

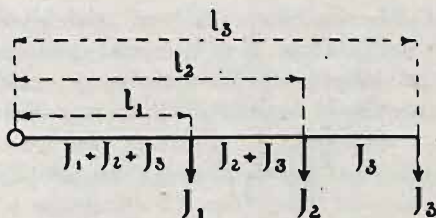
Tu I_1 , I_2 , I_3 natężenia prądu w amperach, l_1 , l_2 , l_3 odległości lamp od prądnicy w metrach.



Rys. 372.

Założmy, że przekrój przewodów na całej długości jest ten sam, wtedy spadek napięcia na jednym przewodzie od prądnicy do ostatniej lampy obliczymy, zgodnie z prawem Ohma, według wzoru następującego:

$$v' = (I_1 + I_2 + I_3) \frac{l_1}{57 \cdot s} + (I_2 + I_3) \frac{(l_2 - l_1)}{57 \cdot s} + I_3 \cdot \frac{(l_3 - l_2)}{57 \cdot s}$$



Rys. 373.

Jeżeli wykonamy mnożenie i zrobimy redukcję, to wypadnie:

$$v' = l_1 \frac{l_1}{57 \cdot s} + l_2 \frac{l_2}{57 \cdot s} + l_3 \frac{l_3}{57 \cdot s},$$

albo:

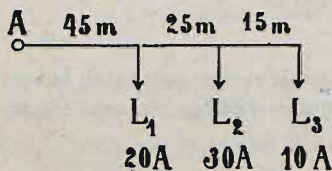
$$v' = \frac{1}{57 \cdot s} \cdot [l_1 \cdot l_1 + l_2 \cdot l_2 + l_3 \cdot l_3],$$

stad, uwzględniając cały spadek napięcia w linii — v ,

$$s = \frac{2 (l_1 l_1 + l_2 l_2 + l_3 l_3)}{57 \cdot v}.$$

Wzór ten można zastosować dla dowolnej liczby odgałęzień.

Przykład. Załóżmy, że pierwsza grupa lamp jest przyłączona na odległości 45 m. od prądnicy, druga na odległości 25 m. od pierwszej, a trzecia na 15 m. od drugiej, rys. 374. Pierwsza bierze 20 A, druga 30 A i trzecia 10 A, rys. 374. Spadek napięcia na obu przewodach do ostatniej lampy ma wynosić 3,3 wolta. Obliczmy



Rys. 374.

przekrój przewodów według wyżej podanego wzoru.

Przedewszystkiem obliczamy odległość poszczególnych grup lamp od prądnicy. $l_1 = 45$ m, $l_2 = 45 + 25 = 70$ m i $l_3 = 45 + 25 + 15 = 85$ m, wtedy według powyższego wzoru:

$$s = \frac{2 [20 \times 45 + 30 \times 70 + 10 \times 85]}{57 \cdot 3,3} = 40,9 \text{ mm}^2.$$

Przekrój, otrzymany w tym przykładzie, porównujemy z tablicą na str. 393. Najbliższy przekrój w tablicy wynosi 35 mm^2 , może być on obciążony do 125 amperów, u nas zaś największy prąd w pierwszej części przewodu stanowi 60 amperów, więc wybrany przekrój jest zupełnie odpowiedni.

152. Przekrój przewodów, przy obciążeniu w kilku miejscach wzdłuż linii, z przewodami o niejednostajnym przekroju.

Jeżeli chodzi o oszczędność w zużyciu przewodników, szczególnie wtedy, gdy odległości pomiędzy odgałęzieniami L_1 , L_2 i L_3 są duże, lub różnice w obciążeniach znaczne, to dajemy na każdym odcinku przewodu przekrój odmienny.

Obliczenie wskazuje, że zużyjemy najmniej miedzi wtedy, gdy przekroje drutów w poszczególnych częściach przewodu będą proporcjonalne do pierwiastków kwadratowych z prądów, płynących w tych drutach.

Jeżeli przekroje w poszczególnych częściach przewodu oznaczmy przez: s_1 , s_2 i s_3 , a prądy przez I_1 , I_2 i I_3 , to:

$$s_1 : s_2 : s_3 = \sqrt{I_1} : \sqrt{I_2} : \sqrt{I_3}.$$

W naszym przykładzie rys. 374.

$$I_1 = 60; I_2 = 40; I_3 = 10,$$

$$\text{więc: } s_1 : s_2 : s_3 = 7,74 : 6,32 : 3,16.$$

Poszczególne przekroje znajdziemy w następujący sposób. Załóżmy, że długość przewodu pozostaje taka sama, jak poprzednio na rys. 374, i przyjmiemy narazie, że:

$$s_1 = 7,74 \text{ mm}^2; s_2 = 6,32 \text{ mm}^2, \text{ a } s_3 = 3,16 \text{ mm}^2;$$

wtedy, według poprzednio podanych wzorów, ogólny spadek napięcia na jednym przewodzie wyniesie:

$$\frac{45 \times 60}{7,74 \cdot 57} + \frac{25 \times 40}{6,32 \cdot 57} + \frac{15 \times 10}{5,16 \cdot 57} = 9,73 \text{ wolta.}$$

Ze względu jednak na równość światła lamp, powinniśmy mieć spadek napięcia na jednym przewodzie 1,65 wolta, więc, zachowując stosunek przekrojów pomiędzy sobą, musimy wszystkie przekroje odpowiednio zwiększyć:

$$s_1 = 7,74 \times \frac{9,73}{1,65} = 45,7 \text{ mm}^2$$

$$s_2 = 6,32 \times \frac{9,73}{1,65} = 37,2 \text{ mm}^2$$

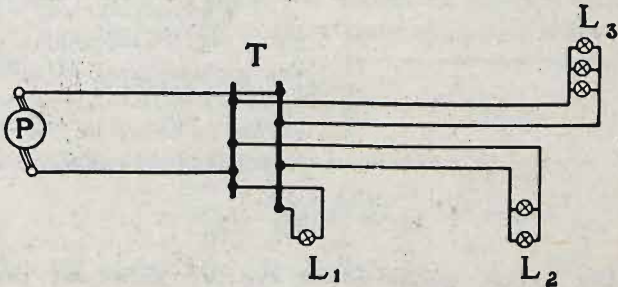
$$s_3 = 3,16 \times \frac{9,73}{1,65} = 18,6 \text{ mm}^2.$$

Zestawiając wyniki tych obliczeń z tablicą na str. 393 widzimy, że najwłaściwiej będzie wziąć ostatecznie: $s_1 = 50 \text{ mm}^2$, $s_2 = 35 \text{ mm}^2$ i $s_3 = 16 \text{ mm}^2$. Prądy największego obciążenia dla tych przekrojów, są oczywiście znacznie mniejsze od prądów przepływających w naszym przykładzie.

153. Przekrój przewodów w sieci rozgałęzionej.

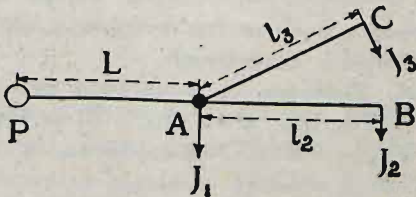
Oprócz przyłączenia kilku grup lamp do jednej linii, na uwagę zasługuje jeszcze często spotykany przypadek przyłączenia lamp do przewodów rozgałęzionych.

Na rys. 375 prądnica P , po długich przewodach, dostarcza prąd do tabliczki rozdzielczej T , od której odgałęziają



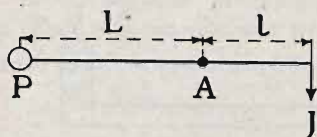
Rys. 375.

się dwie długie linie do lamp L_3 i L_2 i bardzo krótka linia do L_1 . Taki układ połączeń możemy przedstawić rysunkiem uproszczonym (rys. 376), na którym L, l_2, l_3 wyrażają długości poszczególnych pojedynczych przewodów w metrach, I_1, I_2, I_3 prądy w amperach pobierane przez poszczególne grupy lamp. Przekrój drutu PA oznaczmy przez S , drutu AB przez s_2 , drutu AC przez s_3 . Przekroje mają być tak wyznaczone, aby spadek napięcia od P do B i od P do C nie przewyższał 0 woltów. Przekroje te wybrać można rozmaicie, zależnie do tego którą część spadku napięcia przyjmiemy na prze-



Rys. 376.

wód od P do A . Powodując się jednak dążeniem do osiągnięcia jak najmniejszych wydatków na przewody, najwłaściwiej jest prowadzić obliczenia w sposób następujący:



Rys. 377.

Układ rozgałęziony wskazany na rys. 376 zastępujemy układem prostszym rys. 377, gdzie cały prąd $I = I_1 + I_2 + I_3$ odgałęzia się na końcu linii, a długość zastępcza l oblicza się ze wzoru:

$$l = \frac{I_2 l_2 + I_3 l_3}{I_1 + I_2 + I_3}.$$

Dla układu podanego na rys. 377 obliczamy przekrój według znanego wzoru:

$$S = \frac{2I (L + l)}{57 \cdot v}.$$

Taki przekrój dajemy na długości PA w układzie rzeczywistym.

Następnie obliczamy spadek napięcia v'' , jaki przypadnie na rozgałęzienia według wzoru:

$$v'' = \frac{v \cdot l}{L + l}$$

Mając ten spadek napięcia, dwa pozostałe przekroje znajdziemy według znanych wzorów:

$$s_2 = \frac{2I_2 \cdot l_2}{57 \cdot v''} \quad \text{i} \quad s_3 = \frac{2I_3 \cdot l_3}{57 \cdot v''}.$$

W podobny sposób można przeprowadzić rozumowanie przy dowolnej liczbie rozgałęzień.

Przykład. Załóżmy, że w układzie przedstawionym na rys. 376: $L = 100$ m, $l_2 = 50$ m, a $l_3 = 70$ m. Prądy $I_1 = 120$ A, $I_2 = 200$ A, a $I_3 = 150$ A. Napięcie średnie na lampach wynosi 220 V. Należy obliczyć przekroje przewodów na spadek napięcia, uwzględniając drobne rozgałęzienia do lamp, nie wskazane na rysunku.

Jeżeli przyjąć na drobne rozgałęzienia 1% spadku napięcia, to na główne przewody, które mamy obliczyć, pozostanie, według przyjętych w praktyce spadków napięcia:

$$3\% - 1\% = 2\%.$$

2% od 220 V stanowi 4,4 V. Na ten spadek napięcia będziemy obliczać przewody. Przedewszystkiem obliczamy długość zastępczą:

$$l = \frac{200 \times 50 + 150 \times 70}{120 + 200 + 150} = 43,6 \text{ m.}$$

Następnie przekrój przewodu nierozgałęzionego:

$$S = \frac{2 \cdot 470 \cdot (100 + 43,6)}{57 \cdot 4,4} = 540 \text{ mm}^2.$$

Spadek napięcia w odgałęzieniach:

$$v'' = \frac{4,4 \cdot 43,6}{143,6} = 1,314 \text{ wolta.}$$

Przekroje rozgałęzień:

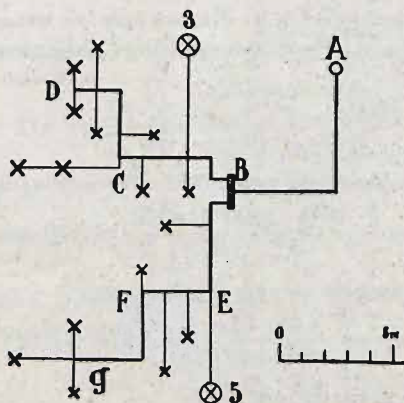
$$s_2 = \frac{2 \cdot 200 \cdot 50}{57 \cdot 1,314} = 263 \text{ mm}^2.$$

$$s_3 = \frac{2 \cdot 150 \cdot 70}{57 \cdot 1,314} = 277 \text{ mm}^2.$$

Znalezione w ten sposób przekroje S , s_2 i s_3 zaokrąglamy według tablicy na str. 395 przypuszczając, że są to kable podziemne jednożyłowe. Przekroje najbliższe mniejsze mamy: $S = 500 \text{ mm}^2$, $s_2 = 240 \text{ mm}^2$ i $s_3 = 240 \text{ mm}^2$. Według tablicy na str. 395, dopuszczalne obciążenia prądem, przewyższają więcej niż dwukrotnie prądy przewidziane w naszym przykładzie.

154. Przykład wyboru i obliczenia przekrojów przewodów w urządzeniu oświetlenia elektrycznego.

Rozważymy sieć pokazaną na rys. 378 zasilaną prądem stałym o średnim napięciu 110 woltów. A —jest to punkt zasilający, od którego idzie przewodnik do tabliczki rozdzielczej B , znajdującej się w mieszkaniu. Krzyżykami zaznaczono rozkład poszczególnych lampek i żyrandoli z liczbą lamp wskazaną obok.



Rys. 378.

Przyjmujemy, że od punktu *A* do najdalejszych punktów *D* i *g* spadek napięcia ma wynosić najwyżej 3 wolty.

Przewody na ścianach i sufitach, ze względu na wytrzymałość mechaniczną, nie mogą być cieńsze od 1 mm². Poszczególne lampy w mieszkaniu przy 110 woltach napięcia biorą zwykle najwyżej 0,5 ampera, więc drobne odgałęzienia do lamp możemy poprowadzić drutem o przekroju 1 mm². Przewody *BEg* i *BCD* ze względu na obciążenie prądem *), mogłyby również mieć przekrój 1 mm², ale w celu obniżenia spadku napięcia lepiej przeciągnąć przewód o przekroju 1,5 mm². Czasem przy długich i znacznie obciążonych rozgałęzieniach stosują się tu przekroje większe 2,5 i wyjątkowo 4 mm².

Przy napięciu prądu 220 woltów wszystkie przekroje możnaby tu brać mniejsze, w każdym razie jednak co najmniej 1 mm².

Obliczmy teraz spadek napięcia w przewodach *BCD*. W tym celu wymierzamy długość poszczególnych kawałków przewodu głównego *BCD* pomiędzy rozgałęzieniami podług

*) Do każdego przewodu mamy przyłączone po 12 lamp co odpowiada, prądowi $0,5 \times 12 = 6$ amperów.

skali na rysunku*) i obliczamy prądy, płynące w tych poszczególnych kawałkach. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawiamy w tablicy, podanej obok. Np. od *B* do pierwszego rozgałęzienia płynie cały prąd 6 amperów, dalej tylko 4 ampery, gdyż żyrandol na 3 lampki i jedna lampka oddzielna już tu w rachubę nie wchodzi i t. d.

Przyjmując oporność jednego metra drutu miedzianego przy przekroju 1 mm² w okrągłej liczbie $\frac{1}{60}$ oma, według poprzednio wy-

| Metry | Ampery |
|-------|--------|
| 4 | 6 |
| 3 | 4 |
| 2 | 3,5 |
| 2 | 2,5 |
| 3 | 2 |
| 1 | 1 |

prowadzonego wzoru, otrzymamy spadek napięcia w jednym drucie w pierwszym kawałku od tabliczki:

$$\frac{4 \times 6}{1,5 \times 60} = 0,26 V.$$

Podobne obliczenia przeprowadzamy dla cząstek następnych, w ten sposób cały spadek napięcia od *B* do *D* wyniesie:

$$\frac{4 \times 6 + 3 \times 4 + 2 \times 3,5 + 2 \times 2,5 + 3 \times 2 + 1 \times 1}{60 \times 1,5} = 0,61 V.$$

Jest to spadek napięcia w jednym drucie, a cały spadek napięcia w odgałęzieniu *BCD*:

$$0,61 \times 2 = 1,22 V.$$

W taki sam sposób układamy tablicę (str. 408) dla odgałęzienia *BEFg* i obliczamy spadek napięcia od *B* do *g* według podobnego wzoru, jak wyżej:

$$\frac{2 \cdot 6 + 3 \cdot 5,5 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2,5 + 1 \cdot 2 + 6 \cdot 1,5}{60 \times 1,5} = 0,5 V.$$

Jest to znowu spadek napięcia w jednym drucie, więc w obu przewodach odgałęzienia *BEFg* cały spadek napięcia wyniesie:

$$0,5 \times 2 = 1 V.$$

*) Przy wymierzaniu długości przewodów podług planu zawsze dodajemy 15% na nieprzewidziane zgięcia i t. p.

| Metry | Ampery |
|-------|--------|
| 2 | 6 |
| 3 | 5,5 |
| 1 | 3 |
| 1 | 2,5 |
| 1 | 2 |
| 6 | 1,5 |

Z tych obliczeń wypada, że w odgałęzieniu *BCD* spadek napięcia mamy większy, niż w *BEFg*, więc w dalszych obliczeniach uwzględniamy tylko ten większy spadek.

Cały spadek napięcia *A* do *D* ma wynosić według założenia 3 wolty, w przewodach *BCD* traci się 1,22 wolta, przeto na przewód *AB* pozostaje:

$$3 - 1,22 = 1,78 \text{ V.}$$

Założmy, że wzdłuż drutów odległość od punktu *A* do *B* stanowi 20 metrów, a cały prąd, płynący do mieszkania wynosi 12 amperów; wtedy według wzorów, wyprowadzonych poprzednio, otrzymamy przekrój:

$$S = \frac{2 \cdot 20 \cdot 12}{1,78 \cdot 60} = \text{około } 4,5 \text{ mm}^2.$$

Najbliższy przekrój według tablicy na str. 393 — mamy, 4 mm². Dla takiego przekroju prąd 12 amperów jest oczywiście zupełnie bezpieczny.

Powyższy sposób obliczenia może być zastosowany również dla obliczenia przekrojów przy zasilaniu tej sieci prądem zmiennym, gdy przewód *AB* jest jednofazowy.

155. Obliczenie przekroju przewodów w układzie trójprzewodowym.

W układzie trójprzewodowym rys. 138 na str. 150 przewody skrajne obliczamy jak przy dwuprzewodowym, przyjmując równe obciążenie na + i na — i nie uwzględniając obecności przewodu zerowego, ze względu jednak na możliwą wyższą napięcia przy dużej różnicy obciążeń poszczególnych połówek sieci, należy przy obliczeniu przekroju przewodów skrajnych przyjmować spadek napięcia mniejszy niż przy układzie dwu-

przewodowym. A mianowicie dla lam 2,25%, a dla silników od 4-ch do 6%.

Przewód zerowy prowadzimy o przekroju wynoszącym połowę przekroju przewodów skrajnych, lecz tylko wtedy gdy nie przewidujemy wielkich różnic w obciążeniu $+$ i $-$, w przeciwnym razie należy przewód zerowy dawać o tym samym przekroju co przewody skrajne.

156. Przekrój przewodów w sieci trójfazowej oświetlenia elektrycznego.

W urządzeniach trójfazowych odgałęzienia od tabliczek rozdzielczych do lamp są **jednofazowe** i przekrój w tych przewodach bierze się taki jak w przykładzie rozważonym w § 154.

Jeżeli dopływ prądu do tabliczki jest trójfazowy to przekrój każdego z trzech przewodów linii trójfazowej należy brać dwa razy mniejszy od przekroju, któryby wypadł dla takiej samej linii dwuprzewodowej prądu stałego.

W praktyce najczęściej trójfazowe przewody mamy w tak zwanych pionach, prowadzonych przez klatki schodowe, spadek napięcia w pionie bierzemy zwykle około 1,2% przy pełnem obciążeniu.

O ile możliwe jest dalsze rozszerzenie urządzenia, to zazwyczaj zaleca się brać przekrój na piony nie mniejszy od 4 mm².

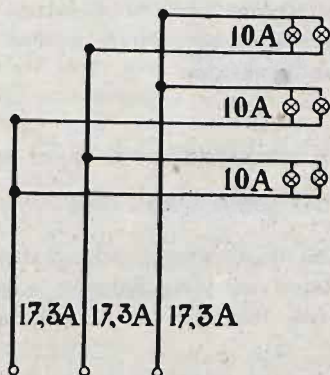
Sprawdzanie obliczonych przekrojów na grzanie prądem należy przeprowadzić według rzeczywistego prądu tam przepływającego.

Jeżeli odgałęzienia jednofazowe włączone są tak, jak wskazuje rys. 379 i biorą prądy równe i amperów, to prąd w każdym drucie linii zasilającej trójfazowej wyniesie:

$$I = i \times 1,73$$

tak, jak to wskazują liczby na rys. 379.

Jeżeli obciążenia poszczególnych faz są niezupełnie równe, to bierzemy dla obliczenia wartość średnią.



Rys. 379.

Np. I faza ma obciążenie 15 A, II faza — 18 A, a III faza — 16 A, to obciążenie jednej fazy średnie będzie:

$$\frac{15 + 18 + 16}{3} = 16,3 \text{ A},$$

a więc prąd w jednym drucie linii zasilającej trójfazowej wypadnie w przybliżeniu:

$$J = 16,3 \times 1,73 = 28 \text{ A}.$$

157. Przekrój przewodów do silników prądu stałego.

Przedewszystkiem obliczamy prąd pobierany przez silnik według wzoru:

$$J = \frac{N \cdot 735}{V \cdot \eta}$$

N — moc otrzymana z silnika w koniach mechanicznych.

V — napięcie prądu zasilającego w woltach.

η — sprawność silnika, patrz strona 253.

Następnie, ze względu na znaczny prąd rozruchowy, według tablicy np. na str. 393, wybieramy przekrój przewodów odpowiedni na prąd trzy razy większy od obliczonego dla silników do półtora konia mechanicznego włącznie, na prąd dwukrotny dla silników od półtora konia do dziesięciu koni mechanicznych i na prąd półtora raza większy dla silników większych.

Następnie obliczamy spadek napięcia w przewodach, według wzorów podanych w poprzednich paragrafach, jeżeli ten spadek napięcia od głównej tablicy rozdzielczej nie jest większy od 5%, to przekrój jest dobry, jeżeli zaś spadek napięcia wypadnie większy, to należy przeprowadzić nowe obliczenie przekroju na spadek napięcia według poprzednich paragrafów.

158. Przekrój przewodów do silników trójfazowych.

Przedewszystkiem obliczamy prąd pobierany przez silnik według wzoru:

$$I = \frac{N \cdot 735}{1,73 \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

N — moc otrzymana z silnika w koniach mechanicznych.

V — napięcie międzyprzewodowe prądu zasilającego.

$\cos \varphi$ — kosinus fi, czyli współczynnik mocy prądu zasilającego, który wynosi od 0,7 do 0,9 zależnie od mocy i obrotów silnika.

η — sprawność silnika patrz str. 253.

Następnie, według tablicy np. na str. 393, wybieramy przekrój odpowiedni dla powyższego prądu, biorąc dla silników do 2-ch koni mechanicznych włącznie prąd podwójny względem obliczonego, a dla silników większych półtora raza większy od obliczonego.

Następnie sprawdzamy stratę mocy w przewodach przy normalnej pracy, która nie powinna przewyższać 5% mocy silnika.

Strata mocy oblicza się, dla linii trójfazowej według wzoru:

$$3 I^2 \frac{l}{57 \cdot s} \text{ w watach.}$$

I — prąd w jednym przewodzie w amperach.

l — długość przewodu w metrach.

s — przekrój przewodu w mm^2 .

Jeżeli straty wypadają większe od 5%, to należy przekroje zwiększyć obliczając na stratę mocy według następującego rozumowania.

Założmy że silnik, pobierający P kilowatów, przyłączony jest do linii przewodów, z których każdy ma długość l metrów i przekrój s mm^2 , a napięcie prądu V woltów. Strata mocy na ciepło w trzech przewodach według prawa Joule'a wyraża się wzorem:

$$3 \cdot I^2 \cdot \frac{l}{57 \cdot s}.$$

Prąd zaś, płynący do silnika trójfazowego, wynosi:

$$I = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}.$$

Jeżeli założymy, że straty na ciepło w przewodach stanowią p % mocy silnika, to ilość watów zamieniających się na ciepło w przewodach wypadnie:

$$\frac{P \cdot 1000}{100} \cdot p.$$

Zestawiając powyższe wzory w jedno równanie, otrzymamy:

$$\frac{P \cdot 1000}{100} \cdot p = 3 \cdot I^2 \cdot \frac{l}{57 \cdot s},$$

albo:

$$\frac{P \cdot 1000}{100} \cdot p = 3 \cdot \frac{P^2 \cdot 1000^2}{3 \cdot V^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \frac{l}{57 \cdot s},$$

$$s = \frac{P \cdot 1000 \cdot l \cdot 100}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot p \cdot 57}.$$

Przykład. Obliczmy przekrój przewodów, łączących prądnice prądu trójfazowego z trójfazowym silnikiem asynchronicznym, znajdującym się na odległości 320 metrów od prądnicy. Moc silnika 81 koni mechanicznych. Silnik pobiera prąd

przy napięciu 1000 woltów; współczynnik mocy prądu, zasilającego silnik, $\cos\varphi = 0,88$; współczynnik sprawności silnika 0,9.

Moc prądu, płynącego do silnika, znajdziemy ze wzoru:

$$P = \frac{81 \cdot 735}{0,9} = 66000 \text{ W.} = 66 \text{ kW.}$$

Przekrój przewodów obliczymy tak, aby strata mocy prądu w przewodach wynosiła 5%, t. j.

$$\frac{66000}{100} \cdot 5 = 3300 \text{ W.}$$

Według powyżej wyprowadzonego wzoru:

$$s = \frac{66 \times 1000 \times 320 \times 100}{1000^2 \times 0,88 \times 5 \times 57} = 9,6 \text{ mm}^2.$$

Prąd, płynący do silnika wypada:

$$I = \frac{66000}{1,73 \cdot 1000 \cdot 0,88} = 43,4 \text{ A.}$$

W celu ostatecznego ustalenia przekroju drutu zwracamy się do tablicy na str. 395 i widzimy, że do znalezionej przez nas przekroju 9,6 mm² najbliższy w tablicy przekrój wynosi 10 mm². Najwyższe obciążenie takiego kabla stanowi 67 amperów, w rozważanym zaś przykładzie pełny prąd silnika — 43,4 ampery, a półtora tego prądu:

$$43,4 \times 1\frac{1}{2} = 65,1 \text{ A}$$

więc powyższy przekrój jest zupełnie odpowiedni.

159. Przekrój przewodów łączących wirnik silnika trójfazowego z rozrusznikiem.

Jeżeli mamy nowy silnik, to zwykle można przystosować przekrój drutu do końcówek, jakie fabryka na odpowiednich zaciskach umocowała. Jeżeli końcówek niema lub mamy wątpliwość co do ich wymiarów, to można obliczyć prąd w tych przewodach ze wzoru:

$$I = \frac{N \cdot 735}{V \cdot 1,73}$$

N — moc silnika w koniach mechanicznych, V — napięcie na pierścieniach wirnika, gdy wirnik jest w spoczynku, a uzwojenie stojana połączone z siecią.

Nieraz napięcie V — bywa napisane na tabliczce, a jeżeli tego napisu nie ma, to łatwo go woltomierzem zmierzyć.

Mając powyższy prąd I — wybieramy odpowiedni przekrój drutu z tablicy na str. 393.

Jeżeli rozruch jest ciężki, to należy wybrać przekrój na prąd półtora do dwóch razy większy od powyżej obliczonego.

160. Przekrój przewodów w obwodzie lamp łukowych.

Zupełnie inne obliczenia mamy w obwodzie lamp łukowych.

Przykład. Obliczyć przekrój przewodów i oporność opornika dodatkowego w obwodzie dwóch lamp łukowych 10-amperowych, włączonych szeregowo i zasilanych prądem z sieci 110 V . Na każdą lampę przypadać powinno 40 V napięcia. Długość całego przewodu wokoło od punktu zasilającego i z powrotem wynosi 100 metrów.

Przekrój przewodu wybieramy ze względu na zagrzewanie się drutu, na prąd $10 \times 1\frac{1}{2} = 15$ A . Jeżeli przewód jest wewnętrzny, to z tablicy na stronie 393 wystarczy przekrój 1,5 mm^2 . Cały spadek napięcia w przewodzie wyniesie:

$$v = \frac{100 \cdot 10}{1,5 \cdot 60} = 11 \text{ } V.$$

Ponieważ dla dwóch lamp potrzeba tylko 80 V , więc pozostanie jeszcze nadmiar:

$$110 - 80 - 11 = 19 \text{ } V,$$

który pochłonie opornik dodatkowy przy prądzie 10 A , przeto oporność jego według prawa Ohma wyniesie:

$$\frac{19}{10} = 1,9 \text{ } \Omega.$$
