

Wyjdziemy teraz z założenia, że potrzeba 5 sek. na to, aby zredukować \textcircled{M} do 0, a więc $T=5\text{sek.}$ Zatem maksymalną ilość obrotów osiągnie turbina po czasie

$$t = \frac{\Delta M}{\textcircled{M}} \cdot T = \frac{2.72000}{5.72000} \cdot 5 = 2 \text{ sek.}$$

Wstawiając to teraz do wzoru na maksymalne n otrzymamy, zakładając $J = 400$:

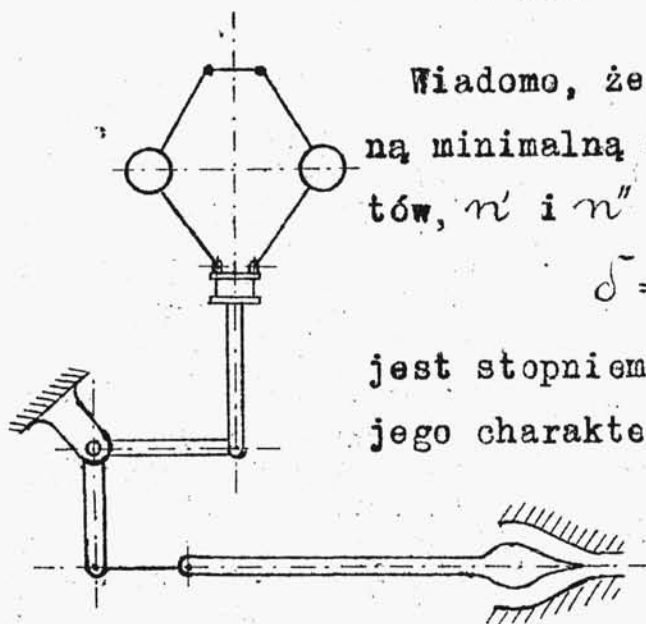
$$n_{\max} = n_0 + 34,4; \text{ zaś } J = 800: n_{\max} = n_0 + 17,2.$$

Poprzednio przyspieszenie wynosiło blisko 100% (97,5%), a więc, jak to było do przewidzenia, zmniejszamy ilość obrotów, nastawiając łopatkę zasilającą tak, że różnica momentów maleje prostolinijnie.

§ 33. Regulacja mechaniczna automatyczna.

Przechodzimy teraz do regulacji automatycznej, za pomocą miarkownika. Musimy tu poczynić pewne założenia.

Rozpatrzmy działanie regulatora, przedstawionego na rys.100. Przypuśćmy, że od kołnierza miarkownika idzie drążek, który za pomocą dźwigni reguluje naprzążenie dyszy, przy kole Peltona.



Wiadomo, że każdy miarkownik ma pewną minimalną i maksymalną ilość obrotów, n' i n'' , a iloraz:

$$\delta = \frac{n'' - n'}{n_{sr}}$$

jest stopniem nierównomierności, czyli jego charakterystyką.

Rzadko kiedy wyzyskuje się całkowity skok kołnierza miarkownika, ze względu na to, by móc go

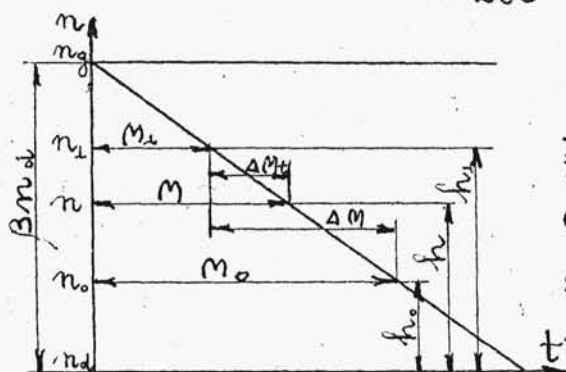
przeregulować, w razie potrzeby. Z tego względu wygodniej będzie wprowadzić tu inną miarę nierównomierności.

Średnie n nie ma realnego znaczenia. To n , przy którym turbina pracuje na całą moc, t.j. gdy miarkownik stoi w najniższym położeniu, nazwijmy n_d , zaś najwyższą ilość obrotów n_g . Stosownie do tego, dolna ilość obrotów ma dla nas największe znaczenie. - Ażeby wyprowadzić miarę nierównomierności wprowadźmy

$$n_g = n_d + \beta n_d,$$

czyli zamiast δ , wprowadzamy β , stosunek zaś, między nimi zachodzący, jest:

$$\delta \cdot n_{sr} = \beta \cdot n_d.$$



Rys. 101.

Zróbmy jeszcze inne założenie, a mianowicie, że czopik, w kształcie cebulki, zamyka otwór w dyszy, jak tu koła Peltona, w taki sposób, że moment na wale turbiny zmienia się prostoliniowo ze skokiem kołnierza. Znaczy to, że jeżeli w czasie $t=0$ mamy n_0 oraz moment M_0 , a kołnierz miarkownika stoi na wysokości h_0 , i w tej chwili redukujemy moment oporu do M_1 , to ta regulacja nastawi otwór w dyszy w ten sposób, że przy stanie równowagi M_1, n_1 , kołnierz będzie się znajdował na wysokości h_1 .

Możemy wyliczyć nowe n_1 . Z rys. 101 możemy napisać:

$$\frac{\Delta M}{(M)} = \frac{n_1 - n_0}{\beta n_0}.$$

Całkowita zmiana n zależy w pierwszej linii od β , w drugiej od $M_0 - M_1$. W chwili t_0 , naruszenia równowagi, mamy moment przyspieszający $\Delta M = M_0 - M_1$. Po upływie t sek. on się zmniejszy, i będzie:

$\Delta M_t = M - M_1$, oraz równy

$$\Delta M_t = (n_1 - n) \cdot \frac{(M)}{\beta n_0},$$

pod wpływem którego następuje dalsze przyspieszenie

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{4M_t}{J} = (n_1 - n) \cdot \frac{(M)}{3n_d J},$$

przechodząc zaś do n mamy:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{30(M)}{\pi J \beta n_d} \cdot (n_1 - n),$$

albo:

$$dt = \frac{\pi J \beta n_d}{30(M)} \cdot \frac{dn}{n_1 - n},$$

całkując zaś, otrzymamy:

$$t = - \frac{\pi J \beta n_d}{30(M) \ln(n_1 - n)} + C.$$

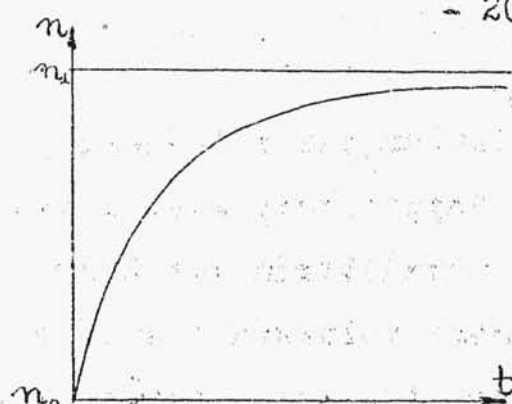
Dla $t=0, n=n_0$, więc:

$$C = \frac{\pi J \beta n_d}{30(M) \ln(n_1 - n_0)},$$

ostatecznie zatem:

$$t = \frac{\pi J \beta n_d}{30(M)} \cdot \ln \frac{n_1 - n_0}{n_1 - n}.$$

Otrzymaliśmy więc taki sam wzór, jak poprzednio dla turbiny nieregulowanej wcale. Krzywa zatem, po której zbliżamy się do nowego stanu równowagi /rys. 102/ jest tak samo asymptotyczna do n_1 , ale to ostateczne n_1 , prędkość nowej równowagi, jest już zależne od β , które dajemy miarkownikowi.



Rys. 102.

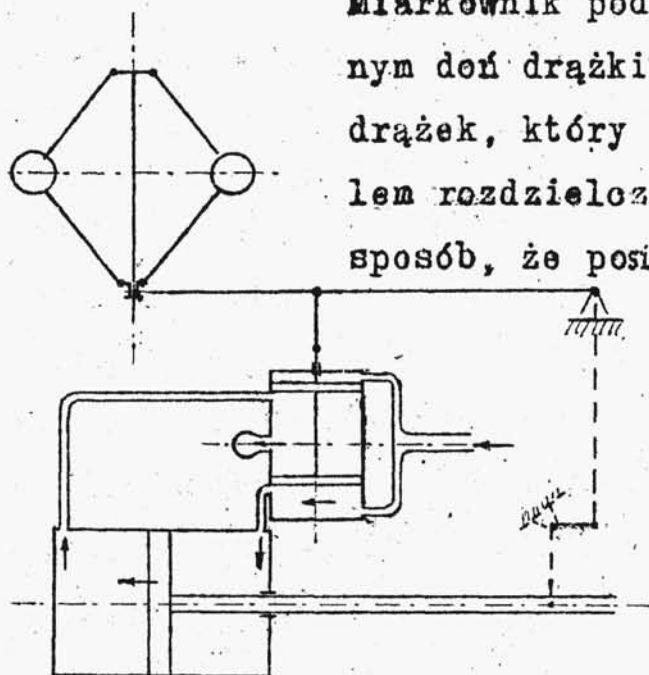
Z powyższego widać, że taka regulacja właściwie rozwiązuje zadanie, ale tylko teoretycznie. Praktycznie taka regulacja jest niemożliwa, gdyż wchodzi tam takie opory, że nie można znaleźć miarkownika dość silnego, któryby mógł łopatki zamknąć. Jest jeszcze inny powód, dla którego regulacja powyższa okazałaby się niemożliwą w praktyce. Mamy mechanizm z dźwigniami, posiadającymi luzy, które mogą wystarczyć na to, aby zanim regulator zdążył nastawić łopatki, odpowiednio do nowego momentu operu, turbina dojdzie dzięki stracie czasu do ilości obrotów, wyższej od tej, która odpowiadałaby pozycji równowagi kołnierza. W tym wypadku cała regulacja przeszłaby w stan oscylacji.

Jedynym rozwiązaniem jest tu t.zw. regulacja pośrednia, która łączy w sobie regulację samoczynną, t.j. połączoną z miarkownikiem, i mechaniczną, tak, iż część jej z miarkownikiem gra rolę kierownika, dającego rozkaz, a część mechaniczna wykonywującego go.

Zazwyczaj budowane są regulatory z tak zwanymi serwowmotorami hydraulicznymi.

Mamy cylinder z tłokiem. Do niego możemy wpuszczać

oliwę, lub inny płyn pod ciśnieniem, raz z jednego końca, drugi raz z drugiego. Najprostszы szemat takiej regulacji przedstawia rys. 103.



Rys. 103.

Miarkownik podnosi kołnierz z umocowanym doń drążkiem, ten zaś porusza inny drążek, który jest połączony z wentylem rozdzielczym, skonstruowanym w ten sposób, że posiada 2 płytki, jakby małe tłoczki, zakrywające otwory w cylindrze. Od tych ostatnich, za pomocą rur, możemy oliwę doprowadzać to na jedną, to na drugą stronę cylindra regulacyjnego, posiadającego jeden tłok, za pomocą którego możemy otwierać, lub zamykać łopatkę turbiny.

Gdy miarkownik idzie w górę, a więc mamy odciążenie turbiny, wówczas tłoczki wentyla rozdzielczego idą w górę — — — i w ten sposób wprowadzamy płyn pod ciśnieniem na prawą stronę tłoka serwomotoru, a z lewej odprowadzamy ją do pompki, która podaje ją do akumulatora hydraulicznego. Pod wpływem

różnicy ciśnień tłok serwowatora pójdzie na prawo i będzie zamykał łopatkę turbiny. Gdy miarkownik idzie na dół, wówczas zachodzi zjawisko odwrotne.

Regulacja ta działałaby więc tak, że z chwilą odciążenia liczba obrotów miarkownika wzrasta, wentyl rozdzielczy puszcza oliwę do cylindra regulującego, który będzie zamykał turbinę dalej, niezależnie od tego, co się w dalszym ciągu dzieje z miarkownikiem, tak, iż turbina zmieniać będzie liczbę obrotów po paraboli, w ten sam sposób, jak to mieliśmy w regulacji mechanicznej.

Przypuśćmy teraz, żeśmy doszli z regulowaniem do $M = M_1$, wówczas n jest większe i miarkownik stoi wyżej, a więc i wentyl rozdzielczy będzie ponad położeniem obojętnym, czyli że tłoczki nie będą zakrywały otworów wentyla rozdzielczego i oliwa będzie w dalszym ciągu szła do serwowatora i będzie przyrywała łopatkę.

Widzimy, że w tym wypadku turbinę przeregulujemy. Czynność regulatora ustać może tylko wtedy, gdy wentyl rozdzielczy jest w położeniu obojętnym. Ponieważ zaś w chwili dostosowania momentu M do M_1 , przy czym $n = n_1$, miarkownik stać będzie na wysokości h_1 ,

a zatem i wentyl rozdzielozy na odpowiedniej wysokości ponad normalną i trzeba by go sprowadzić z powrotem na dół o ten sam skok h . Znaczy to, że zachowując poprzednio zrobione założenia /prostej proporcjonalności między h, M i n / miarkownik spadnie do położenia normalnego, gdy przeregulujemy turbinę, wprowadzając $-\Delta M$ równe początkowemu $+\Delta M$. W ten sposób otrzymalibyśmy oscylacje dokoła momentu M_L i prostej n_L .

W praktyce luzy zazwyczaj działają w tym kierunku, że oscylacje te w każdej fazie będą rosły, tak, iż gdyby taką regulację stosowano, to cały system po naruszeniu równowagi poszedłby w kompletną oscylację, zamykając lub otwierając całkowicie turbinę.

Zachodziły jednak wypadki, w których prawo proporcjonalności między skokiem h i momentem M było inne, niż założyliśmy oraz błędy konstrukcyjne /luzy/ oraz różne opory tak na siebie oddziaływały, że oscylacje w następujących po sobie fazach się zmniejszały. W takich wypadkach powyższa regulacja oddawała usługi, nigdy wszakże nie mogła być precyzyjną.

Aby więc uniknąć ciągłych oscylacji, trzeba wprowadzić samoczynną poprawkę, taką, która by w każdej

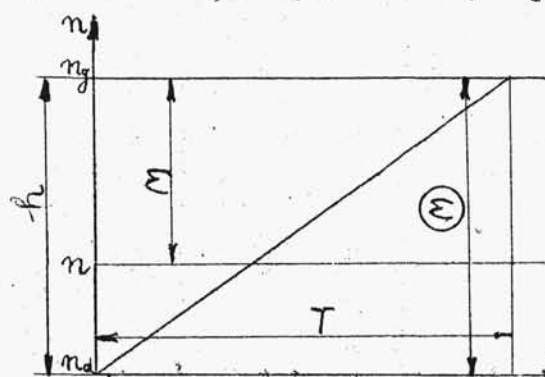
pozycji miarkownika sprowadzała wentyl regulacyjny do położenia normalnego. Mechanizm taki nazywa się kompensacją, i wykonać go można w różny sposób.

Sposób najczęściej stosowany polega na tem, że punkt obrotu drążka, poruszanego przez miarkownik, nie jest stały, lecz wahliwy i może się poruszać, w zależności od ruchów serwomotoru. Chodziłoby więc o to, by dla danego (M) , w nowem położeniu kołnierza miarkownika, móc wentyl rozdzielczy ^zwhiesiony dotąd, obniżyć, obniżając punkt obrotu tego drążka, lub podnieść go, wznosząc punkt obrotu, podczas gdy kołnierz pozostaje w swem nowem położeniu. Można to wykonać, dając drążek do tłoczyska serwomotoru, z ramieniem do ściągnięcia w dół przegubu drążka /rys. 103/.

Przez takie połączenie wentyla rozdzielczego z serwomotorem dochodzimy do tego, że w każdej pozycji tłoka serwomotoru, wentyl rozdzielczy zostaje ściągnięty do swej neutralnej pozycji, w każdej zaś takiej chwili miarkownik będzie również we właściwem położeniu.

Wychodzimy z założenia, że dostosowywanie się, t. j. przechodzenie turbiny z (M) na $(M)_1$, w zależności od czasu odbywa się prostolinijnie, jak również i ruchy tłoka serwomotoru, a więc i ruch wstecz połączonego z nim przez kompensację wentyla rozdzielczego. Znaczą

te, że w każdym stanie równowagi, każdemu (M) , odpowiada pewien skok miarkownika h i pewna ilość obrotów n , co do wzajemnego stosunku których znów robimy założenie prostoliniowości, jak poprzednio. Zmiana ilości obrotów turbiny, w zależności od czasu, odbywa się po paraboli.



Rys. 104.

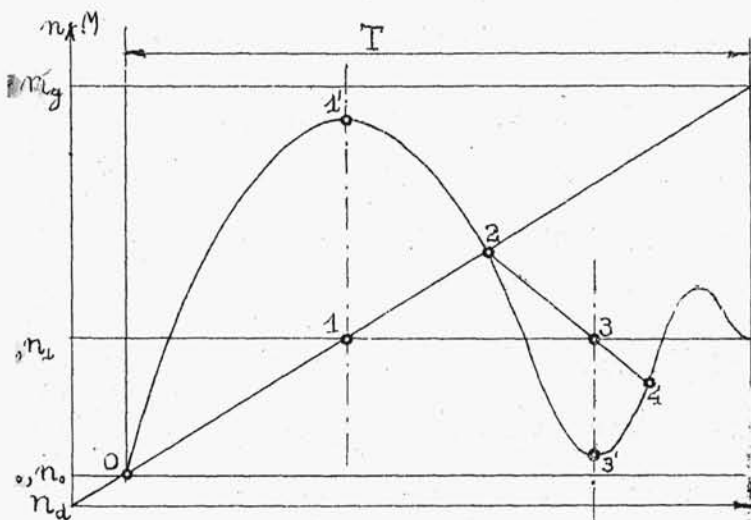
Rysujemy zatem prostą n_d , przy której otwarcie łopatek wynosi 100 % i $HP_{max.}$, oraz w pewnej skali odmierzamy położenie prostej n_g /rys. 104/ dla biegu jałowego według wzoru:

$n_g = n_d + \beta n_d$. W innej skali, h przedstawiać nam może (M) , jak również skok kołnierza miarkownika.

Odcięta daje nam skalę czasu i jeżeli T przedstawia nam czas, potrzebny do zupełnego otwarcia, lub zamknięcia łopatek, to prosta pochyła wyrazi nam zmienność momentu względem czasu i równocześnie jest hodografem ruchu wentyla rozdzielczego wstecz. Ponieważ mamy regulację mechaniczną, działającą jak poprzednio, zmieniać się będzie po paraboli, a więc hodograf wentyla rozdzielczego, przedstawiający ruch jego, poruszający z miarkownika będzie tą samą parabola. — — — — — Ponieważ zaś hodograf

tegeż wentyla, o ile idzie o ruch wstecz, będzie linią prostą, przeto położenie równowagi w wykresie, otrzymany na przecięciu się obu hodografów. - Idealnem byłoby, gdyby w tym samym momencie $\Delta M = 0$, co jednakże naogół tak nie jest, jak to dalej zobaczymy.

Przypuśćmy, że w chwili $t=0$ turbina pracowała na $n=n_0$ i moment M_0 , miarkownik stał już na pewnej wysokości, np. w p. 0 /rys.105/, od którego też zaczęliśmy liczyć czas. Łopatki były już cokolwiek przymknięte.



Rys.105.

Przypuśćmy, że w owej chwili zmieniamy gwałtownie moment M_0 na M_1 któremu odpowiadała by ilość obrotów n_1 obliczona np. ze wzorów z β . Wyobraźmy sobie teraz,

że cała regulacja działa natychmiastowo, bez strat czasu. Obecnie, tak jak w regulacji mechanicznej, ilość obrotów pójdzie w górę, wzdłuż paraboli, którą wykreślamy na rysunku. Kształt jej zależy od

tempa, z jakim zamykamy turbinę i maximum swoje posiada tam, gdzie $\Delta M = 0$. W tym czasie tłok serwowomotoru przesunie się o odpowiednią długość w prawo, wzdłuż prostej pochyłej. Kołnierza miarkownika stoi na wysokości wierzchołka paraboli, tam też stałby wentyl rozdzielczy, gdyby nie było kompensacji, gdyż krzywa n jest także hodografem wentyla rozdzielczego, /w innej skali/, o ile idzie o ruch, pochodzący od kołnierza miarkownika. Ponieważ zaś serwowomoter, przez kompensację, ściąga wentyl rozdzielczy po linii pochyłej, przeto w rzeczywistości w tym momencie wentyl wzniesiony będzie ponad pozycję normalną tylko o różnicę $1-1'$. Wobec tego regulacja nie ustaje, gdyż oliwa w dalszym ciągu płynie na prawą stronę tłoka i zamyka łopatkę.

W czasie 1-2, n się zmniejsza, gdyż przez przeregulowanie wprowadziliśmy ujemny moment ΔM i miarkownik sam ściąga wentyl, aż do chwili, gdy położenie wentyla odpowiada temu, do jakiego ściągnąłby go tłok serwowomotoru. Jest to położenie obojętne wentyla rozdzielczego i w punkcie 2 jest on zamknięty. Został więc przerwany dopływ oliwy do serwowomotoru. W tej chwili jednak łopatkę na-

stawione są na moment $M_2 < M_1$. Możemy więc ten stan uważać za nowe zepsucie równowagi, z powodu wprowadzenia $-\Delta M = M_1 - M_2$. Pod wpływem tego $-\Delta M$ ilość obrotów będzie w dalszym ciągu się zmniejszała, pociągając kołnierz miarkownika i wentyl rozdzielczy na dół, a więc oliwa płynąć będzie teraz na przeciwną stronę tłoka serwoweteru i rozpocznie się otwieranie łopatek. Zakładając znów, że niema żadnych strat czasu, nakreślić musimy prostą pochyłą momentów w przeciwnym kierunku /Linja 2,3,4/.

W miarę, jak łopatki zaczną się otwierać, zacznie znikać różnica $-\Delta M = M_1 - M_2$, aż do nowego stanu równowagi w p.3, gdzie $-\Delta M = 0$. W czasie 2-3, z powodu niezrównoważonego a wciąż malejącego momentu $-\Delta M$, ilość obrotów turbiny zmniejszać się będzie wzdłuż paraboli i w chwili 3 osiągnie swoje maksymalne położenie 3'. W tej chwili kołnierz miarkownika ściągnął wentyl rozdzielczy z normalnej pozycji na odległość 2-3', kompensacja zaś podniosła go tylko o 2-3, jest więc on jeszcze otwarty, dopuszczając oliwę na otwierającą stronę serwoweteru. Wskutek tego łopatki otwierane będą w dalszym ciągu, aż do chwili 4, w której wentyl rozdzielczy dojdzie do normalnego położenia. W tej chwili jednak mamy znowu

moment ΔM , a mianowicie $+\Delta M = M_A - M_L$.

Przebieg regulacji będzie trwał dalej, jak na rysunku, aż po kilku falach dojdziemy do równowagi ostatecznej, t.j. do takiego stanu, że wierzchołek paraboli przecina się z prostą pochyłą momentów na wysokości n_L, M_A . W ten sposób znikną parabole zupełnie i będzie równowaga stała. Może się zdarzyć, że punkt równowagi chwilowej nigdy nie spadnie na wierzchołek paraboli, oraz prosta n_L nigdy nie przejdzie przezzeń. Wówczas ostatecznie chwile regulacji będą takie, że odchylenia wentyla rozdzielczego będą tak małe, że oliwa bardzo powoli będzie depływała do serwonoteru i zbliżanie się do ostatecznego stanu równowagi zostanie wówczas rozciągnięte i przejdzie asymptotycznie w n_L . Zdarza się też często, że ostateczne ΔM są tak małe, iż nie zdążą przyspieszyć w czasie mas, obracających się. Wówczas do ostatecznego stanu równowagi dochodzi się małymi skokami jednostronnymi.

W ten sposób działa regulacja pośrednia z kompensacją /Relais compensation, rückführung nach-führung/.

W dobrej regulacji chodzi o to, by ilość obrotów nowej równowagi, niewiele się różniła od poprzedniej, to znaczy, że n_g niewiele ma się różnić od n_d , a więc β ma być jaknajmniejsze, T małe i ampli-

tuda fal niewielka. Ponadto dobra regulacja wymaga, by dostosowanie turbiny do nowego momentu trwało jaknajkrócej, przy czem winno ono zajść z jaknajmniej-
szą ilością fal, gdyż im one są większe, oraz im ich
więcej, tem więcej będziemy mieli wahań prądu elek-
trycznego, wytwarzanego przez generatory, pędzone przez
turbine.

O ile chodzi o n_g i n_d , to różnica ich zależy
od charakterystyki miarkownika. Ten ostatni musi być
bardzo czuły, a więc $\beta \approx 3\%$ byłoby już duże, tak iż
elektrotechnika wymaga często $\beta = 1\%$.

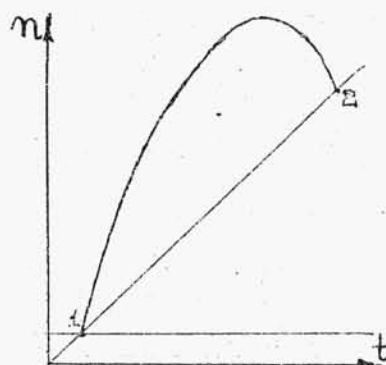
Mieliśmy wyraz dla paraboli:

$$n_{max} - n_0 = \frac{154 M^2}{\pi J (M)} \cdot T$$

Widzimy z tego, że im wolniej zamykamy łopatkę,
to różnica ta jest tem większa i wówczas trzeba budo-
wać regulatory na szybkie zamykanie, 2-5 sek. Zależy
ona również od ciśnienia i przekrojów, przez które
oliwa płynie, gdyż od tych czynników zależy T . Da-
lej widzimy, że zależy ona od J , momentu bezwładnoś-
ci turbiny. Dlatego też często złą regulację można
poprawić, dając dodatkowe koła zamachowe. Najbardziej
jednak różnica $n_{max} - n_0$ zależy od ΔM .

Co do fal, to ilość ich jest tem mniejsza, im

punkt przecięcia 2 /rys.106/ jest bliżej wierzchołka paraboli. Gdyby punkt 2 zszedł się z wierzchołkiem już w I-jej fazie, jak to mamy na rys. 107 ,



Rys. 106.

to wówczas przeszlibyśmy do równowagi bez wahań i mielibyśmy regulację idealną. Znaczyłoby to, że wentyl rozdzielczy został ściągnięty do normalnej pozycji wtedy, gdy serwowator przynął łopatkę dostatecznie.

Oznaczając czas przez t' , możemy napisać:

$$t' = \frac{\Delta M}{(M)} \cdot T.$$

Gdyby więc regulacja miała działać bez fal, to trzeba by regulator tak zbudować, by t zmieniało się w prostym stosunku do ΔM . Pochylenie α prostej momentów można więc obliczyć

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_{\max} - n_0}{t'} = \frac{15 \Delta M}{\pi J}.$$

Byłoby oczywiście trudnem skonstruować regulator w ten sposób, by T było odwrotnie proporcjonalne do ΔM , gdyż prędkość zamykania zależy od otworów,

przez które płynie oliwa i byłoby bardzo trudno wyliczyć, jak się one winny zwiększać lub zmniejszać, aby tę zależność osiągnąć.

Jasnym jest, że jeżeli ΔM jest małe, oraz n_{max} niewielkie, to i przebieg regulacji będzie wolniejszy, czyli otwory w wentylu rozdzielczym będą niewielkie oraz wolno się będą otwierały i stąd T będzie inne i pochylenie krzywej regulacji nie będzie tak duże.

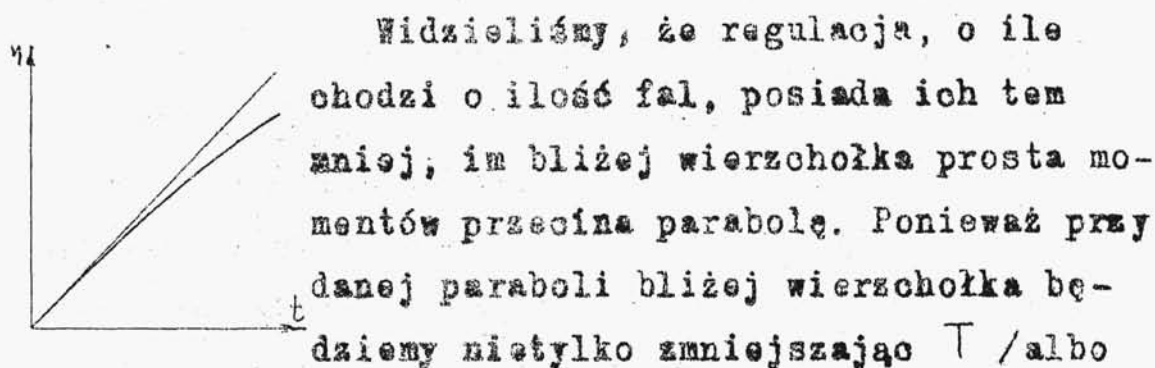
Według prof. Budan'a, jeżeli T_0 określa czas, który upływałby od całkowitego otwarcia łopatek, do całkowitego ich zamknięcia, to T , któreby użyć trzeba, przy wprowadzeniu nierównowagi ΔM , wynosi mniejwięcej:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{\frac{\Delta M}{M}}}$$

Widzimy więc, że jeżeli $\Delta M = 0,25$, czyli odciążenie wynosi $1/4$ całkowitego M , a więc na przykład, jeżeli $M = 8.72000$, zaś turbina pracowała na $M = 7.72000 \text{ kg.cm}$ i została odciążona do 5.72000 czyli o $1/4 M$, to wówczas $T = 2T_0$. Znaczy to, że przy wprowadzeniu nierównowagi 25 % regulator 2 razy wolniej działa, niż przy całkowitem odciążeniu.

Z tego też względu krzywa momentów w wykresie nie

będzie prostą pochyłą, lecz raczej miałaby kształt jak na rys.108.



Rys.108.

T_0 /, ale także powiększając n_g /większe β /, gdyż dzięki temu podnosimy pochyłą linię momentów /0, 1, 2/, przeto polepszyć można regulację, o ile chodzi o zredukowanie ilości fal, przez użycie miarkowników z większą nierównomiernością, czyli większą różnicą $n_g - n_d$. Taka jednak droga nie zawsze jest dopuszczalna, gdyż nie zawsze dopuszczalne są zbyt wielkie różnice ilości obrotów przy różnych obciążeniach.

Dotąd wychodziliśmy z założenia, że regulator nasz jest idealnie skonstruowany i idealnie działa, to znaczy, nie powoduje strat czasu, a więc w tej samej chwili, gdy następuje przeciążenie, lub odciążenie, miarkownik natychmiast działa i tak samo działają inne części.

Takich jednak regulatorów w praktyce niema i zaw-

sze istnieją luzy, choćby minimalne, tak iż upły-
nąć muszą choćby ułamki sekundy, nim regulator zacz-
nie nastawiać łopatk i dalsza swłoka, nim ilość
wody dostosuje się do otworu łopatek. Woda posiada
bowiem swą bezwładność i dzięki temu może się przy
zamykaniu łopatek chwilowo podnieść ciśnienie, któ-
re będzie wytknęło tę samą ilość wody, co i przed-
tem, jeszcze przez pewien czas, po przyknięciu łopa-
tek. Mamy więc zawsze do czynienia z pewnemi stratami
czasu.

Podzielić je można na: 1/ straty czasu z powodu
bezwładności miarkownika i jego oporów oraz 2/ z po-
wodu luzów /oraz bezwładności wody/.

Prócz stopnia nierównomierności, mamy w miarkow-
nikach jeszcze stopień nieczułości, ze względu na to,
że miarkownik sam musi powiększyć swą ilość obrotów
do pewnego stopnia, zanim może ruszyć z miejsca. -
Określa się go przez stosunek $\frac{\Delta n}{n_s}$, jeżeli Δn
jest tym przyrostem ilości obrotów, po którym dopie-
ro kołnierz rusza z miejsca. Może on wynosić 1/4 %
- 1/2 % a nawet 0,1 % .

Uwaga. Określa się go też:

$$\frac{\Delta n}{n_s} = \frac{n'' - n'}{n' + n'}$$

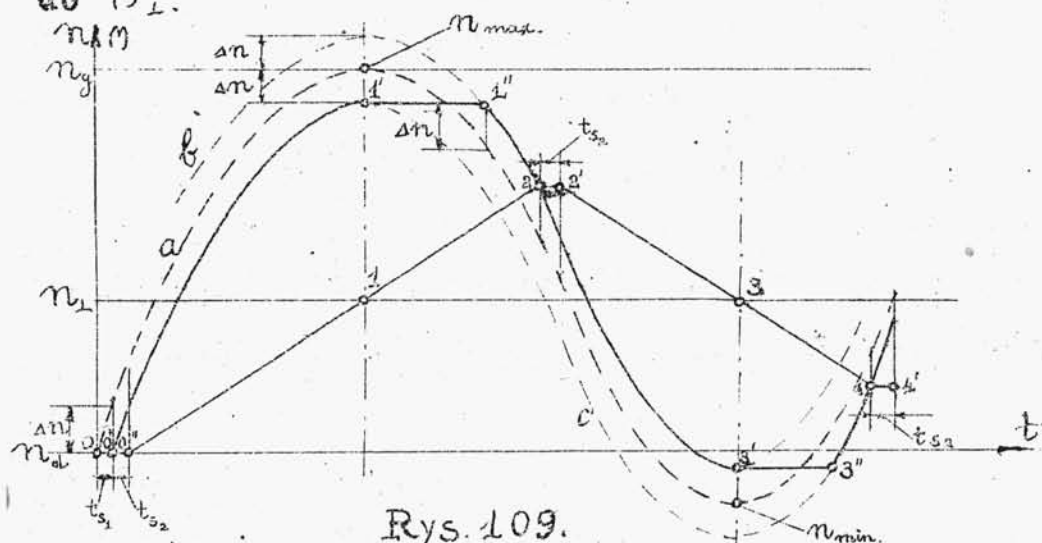
gdzie: $n'' = n_s + \Delta n$,

przy którym miarkownik zaczyna iść w górę, a

$$n' = n_s - \Delta n,$$

przy którym zaczyna iść na dół.

Chcemy teraz uwzględnić to w naszej regulacji. Naruszamy stan równowagi, odciążając turbinę z M do M_1 .



Rys. 109.

Z powodu nieczułości regulatora, ilość obrotów musi wzrosnąć o Δn , zanim miarkownik zacznie działać. Czas t_{s1} , który upłynie do tej chwili, jest czasem straconym dla regulacji, podczas którego

ΔM nie maleje, a więc według §§ 31 prędkość zmieniać się będzie według linii prostej. Po upływie t_{s1} sek. miarkownik zaczyna działać, lecz nie działa jeszcze regulacja, to jest nie redukuje się jeszcze moment ΔM ze względu na drugi czas stracony z powodu luzów w regulatorze /i bezwładności

wody /, a więc nie ściąga się też jeszcze wentyla rozdzielczego przez kompensację z położenia neutralnego. Określany czas tak stracony jako t_{s_2} , podczas którego również obroty turbiny zmieniają się według linii prostej. Dopiero więc od chwili O'' regulacja działa rzeczywiście i ilość obrotów zmieniać się będzie po paraboli. Od tej też chwili dopiero, /o ile nie weźmiemy pod uwagę czasu straconego w kompensacji/, kompensacja działać będzie na wentyl rozdzielczy, ściągając go do neutralnej pozycji, z której go podniesie kołnierz miarkownika. Od tegoż punktu O'' kreślimy prostą momentów $O''_1, 2$. W punkcie 1 linja ta przecina M_1, n_1 /momenty zrównoważone/ i w chwili tej ilość obrotów dochodzi do maximum /wierzchołek paraboli/. Ponieważ jednak regulacja dalej zamyka łopatkę, przeto n od tej chwili będzie maleć po drugiej gałęzi paraboli α , lecz z powodu nieczułości miarkownika kołnierza jego nie odrazu zacznie schodzić na dół. Zacznie on wtedy spadać, gdy liczba obrotów spadnie poniżej $n_{max} \pm 2\Delta n$ albo raczej poniżej liczby obrotów, odpowiadającej rzeczywistemu położeniu kołnierza, o Δn . Jeżeli więc teraz narysujemy sobie na tymże rysunku parabolę β , wzniesioną ponad parabolę α o Δn ,

a z punktu 1' poprowadzimy poziomą wprawo, to punkt przecięcia ich 1" oznaczać będzie chwilę, gdy kołnierz miarkownika zacznie spadać i odtąd pójdzie po paraboli ℓ . Linja $0'-1'-1''-2$ jest więc obecnie hodegrafem kołnierza, o ile idzie o jego ruch, spowodowany ruchem miarkownika, a więc i wentyla rozdzielczego, o ile idzie o jego ruch, spowodowany ruchem kołnierza, bez brania pod uwagę luzów między kołnierzem i wentylem. W punkcie 2 następuje zrównoważenie momentów, lecz ilość obrotów w dalszym ciągu maleje, z powodu przeregulowania. Wskutek luzów w mechanizmie jednakże regulacja w przeciwnym kierunku nie zaczyna działać natychmiast, chociaż kołnierz już idzie na dół i już za sobą pociąga wentyl rozdzielowy. Zachodzi tu strata czasu t_{s_2} i dopiero od punktu 2' zaczyna się dostosowywanie momentów /linja 2'-3-4/. W czasie 2-2' linja obrotów jest znów prostą, podobnie i hodegraf kołnierza i wentyla rozdzielczego i dopiero w chwili 2' zmienia się na parabolę.

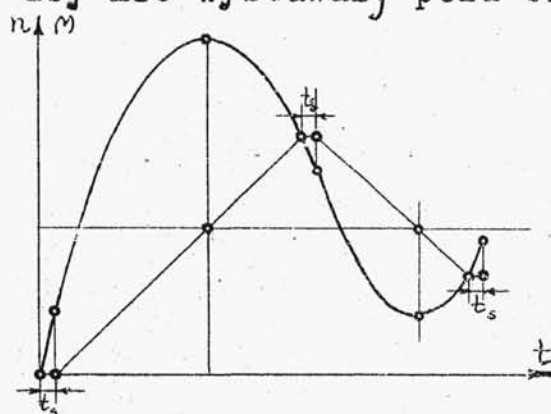
W chwili 3 następuje zrównoważenie momentów, a więc liczba obrotów dochodzi do n minimum. Od chwili tej liczba obrotów będzie się wzmagala w dalszym ciągu po parabeli z powodu przeregulowania, ale z

powodu nieczułości kołnierza regulatora nie podniesie się z położenia 3' prędzej jak w chwili gdy ilość obrotów podniesie się o Δn ponad 3'. Chwilę tę otrzymujemy przez wyrysowanie paraboli o o Δn niżej paraboli α i przeprowadzenie poziomej 3" - 3'. Od punktu 3" hodograf wentyla rozdzielczego idzie w górę. W punkcie 4 wentyl rozdzielczy dochodzi do położenia normalnego. W następnej chwili miarkownik otwiera go, lecz regulacja działać będzie skutecznie po upływie czasu $t_{s_2}/4 - 4'/$. Podczas tego czasu ilość obrotów zmieniać się będzie po linii prostej. Dopiero po przejściu punktu 4' przejdzie w parabolę. Linja momentów rozpocznie się w punkcie 4".

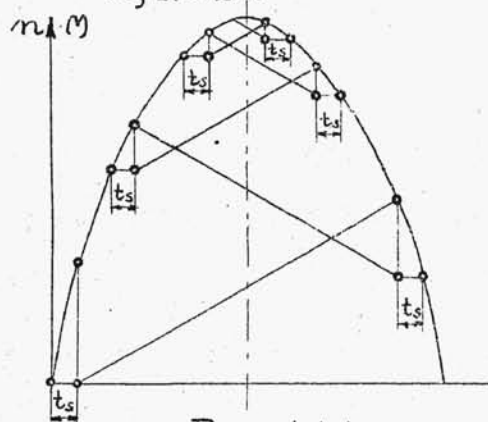
Z rysunku powyższego widocznem jest, że nieczułość miarkownika oraz straty czasu z powodu luzów w regulatorze, powiększają amplitudę fal oraz ich ilość i dzięki temu regulacja może być całkiem bezużyteczną, gdyż możemy dojść do tego, że amplitudy będą powoli rosły i w miejsce regulacji, otrzymamy zupełną oscylację.

Wynika stąd reguła dla konstruktorów, że należy unikać miarkowników o wielkiej nieczułości, zaś sto-

sować regulatory precyzyjne i z małym obciążeniem części, aby uniknąć ich wycierania się. Kule miarkownika winny być możliwie lekkie, natomiast na wielką ilość obrotów, aby energia w nich zawarta bardziej zależała od n , niż od J . Tłoczki wentyla rozdzielczego winny być dopasowane do otworu tak, aby nie wystawały poza brzegi tych ostatnich.



Rys. 110.



Rys. 111.

Przebieg regulacji z uwzględnieniem strat czasu można przedstawić w nieco prostszy sposób /rys.110/, łącząc mianowicie wpływ Δn z innymi stratami na wspólną jedną stratę czasu. - Przedstawić można przebieg regulacji w jednej paraboli, gdyż wszystkie parabole fal mają jeden i ten sam parametr /rys.111/, przyczem i odcinki proste krzywej zastępujemy parabolami.

Elektrotechnika dzisiejsza stawia coraz to większe wymagania regulacji, żądając zmiany ilości obrotów w bardzo małych granicach, albo nawet stałej ilość.

ci obrotów przy wszystkich obciążeniach.

Ponieważ wiemy, że im większe β miarkownika, tem lepszą mamy regulację, o ile idzie o ilość fal, więc wobec tego nieracjonalnem byłoby, choieć zadośćuczynić powyższym wymaganiom, przez budowanie miarkowników o bardzo małych β . Postępuje się tutaj w inny sposób, mianowicie, używając regulatorów z II kompensacją, mającą na celu doprowadzić, za pomocą odpowiednich mechanizmów, miarkownik stale do tej samej pozycji, a więc turbinę stale do tej samej ilości obrotów, przy różnych momentach. Są to t.zw. regulatory izodromowe. Dzięki tej drugiej kompensacji można nawet odwrócić β całej turbiny od β miarkownika w przeciwnym kierunku, dochodząc nieraz do β ujemnego, t.j. uzyskać regulację taką, że turbina może iść z większą ilością obrotów przy pełnem obciążeniu, niż przy odciążeniu.

Konstrukcyjnie przeprowadza się drugą kompensację w rozmaity sposób, wszystkie jednak wymagają by mechanizm kompensacji I nie był sztywny. Wprowadza się więc w mechanizm I kompensacji sprężyny oraz katarakty, które umożliwiają powrót miarkownika do pozycji normalnej, przy każ-

dem położeniu serwowatoru /otwarcia łopatek/ lub
wogóle rozrywają stałą zależność między położeniem
miarkownika a położeniem serwowatoru /otwarcia ło
patek/.

