

15 września 1925 r.

URZĄD PATENTOWY



H02k, 17/02

RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 1965.

Kl. 21 d 39.

Siemens-Schuckertwerke Gesellschaft
mit beschränkter Haftung
(Berlin, Niemcy).

Urządzenie do rozrządu trójfazowych silników asynchronicznych z wirnikami zwartymi.

Zgłoszono 27 listopada 1920 r.

Udzielono 28 kwietnia 1925 r.

Pierwszeństwo: 30 marca 1916 r. (Niemcy).

Asynchroniczne silniki indukcyjne, których schemat połączeń dla prądu trójfazowego jest przedstawiony dla przykładu na fig. 1, posiadają, jak wiadomo, tę własność, że ich moment obrotowy zależy od ilości obrotów, co uwidacznia dla normalnego biegu wykres oznaczony na fig. 2 grubszą linią. Moment obrotowy D z początku, gdy ilość obrotów n oddala się od synchronizmu, wzrasta proporcjonalnie do poślizgu s , szybko jednak osiąga swą maksymalną wartość (tak zwany moment wywracający), a następnie zmniejsza się przy wzrastającym poślizgu.

Włączając zapomocą pierścieni ślizgowych do obwodu wtórnego silników zewnętrzne opory, można, jak wiadomo, o-

siągnąć moment wywracający przy coraz mniejszych ilościach obrotów, jak to jest przedstawione na fig. 2 wykresami oznaczonymi cieńszą linią. Jesteśmy przeto w możności regulując te opory, rozrządzać silnikiem, na przykład dokonać rozruchu, przy dowolnym momencie obrotowym, przyczem opory te w miarę tego jak silnik osiąga normalny bieg, są wyłączane, a to w tym celu, żeby poślizg normalnego biegu był o niskiej wartości i strata energii w rozruszniku była możliwie jaknajmniejsza.

Jeżeli największej ilości obrotów silnika odpowiada moment wywracający i silnik ma rozwijać, przy wciąż zmniejszającej się ilości obrotów, moment obrotowy o wartości możliwie jaknajwiększej i sta-

łej, to niezbędne jest ciągle lub możliwie najmniejszymi stopniami regulowanie oporności całkowitego obwodu wtórnego silnika, odpowiednio do każdorazowego poślizgu. Grubszy wykres r (fig. 3), przedstawia tę zależność oporności wirnika od ilości obrotów, a odpowiedni wykres d momentu obrotowego jest pokazany na fig. 2 grubszą linią przerywaną.

Silnik zaś rozruszany nie przy maksymalnym, lecz przy jakimś innym momencie jest zazwyczaj opatrzony w mniejszą lub większą oporność. Na przykład wykres d_1 lub d_2 momentu obrotowego, oznaczony na fig. 2 cieńszą linią przerywaną, odpowiada wykresowi r_1 lub r_2 , przedstawionemu na fig. 3 cieńszą linią, przy czym wykresy te mogą być otrzymane przez stopniowe wyłączanie oporności, które się zmniejszają przy zwiększającej się ilości obrotów. Oczywiście, w bliskości synchronicznej ilości obrotów, całkowita oporność obwodu wirnika nie może być sprowadzona do zera, gdyż nie daje się usunąć wewnętrzna oporność wirnika, określająca normalny poślizg silnika.

Ta niemożliwość osiągnięcia większego momentu obrotowego przy rozruszaniu bez współdziałania zewnętrznej oporności stanowi, jak wiadomo, jedną z poważniejszych ujemnych cech silników asynchronicznych, gdyż pociąga to za sobą konieczność zastosowania pierścieni ślizgowych, jak również zewnętrznych przyrządów, włączających oporność do obwodu wirnika. Tylko w niektórych dość rzadkich zastosowaniach dostateczny jest moment obrotowy, jaki rozwija wirnik bez zewnętrznego oporu podczas rozruchu, co ilustruje wykres fig. 2, oznaczony grubszą linią, ale nawet i wtedy celem osiągnięcia przy rozruchu do pewnego stopnia spotęgowanego momentu obrotowego, wirniki te posiadają większą wewnętrzną oporność, niż to jest konieczne dla normalnego biegu silnika.

Liczne są projekty i konstrukcje, które

zapobiegają użyciu zewnętrznych oporów rozruchowych i pierścieni ślizgowych, a jest to uskutecznione bądź przez umieszczenie oporów i odpowiednich przyrządów włącznikowych wewnątrz wirnika, bądź przez powiększenie oporności wirnika zapomocą łączenia różnych części uzwojenia o przeciwnych kierunkach prądu. Były również budowane wirniki o kilku uzwojeniach, przyczem uzwojenia o niższej oporności służyły dla biegu normalnego, a uzwojenia o znacznie większej oporności rozwijały moment rozruchowy.

Pierwszy wymieniony sposób rozruchu komplikuje konstrukcję, znacznie odbiegając od prostej budowy wirnika „klatkowego”, którego cechuje wysoka sprawność. Drugi zaś wyżej opisany sposób wpływa ujemnie na bieg i charakterystykę silnika, gdyż nie można równomiernie rozłożyć na obwodzie wirnika części różnych uzwojeń, od czego, jak wiadomo, w wysokim stopniu zależą własności silnika asynchronicznego.

Wreszcie konstruktorzy usiłowali uproszczyć rozruch silnika w ten sposób, że opory zewnętrzne były włączane nie ręcznie lecz samoczynnie, co było uskutecznione przez wyzyskanie własności przewodów metalowych, polegających na tem, że oporność tych przewodów wzrasta pod wpływem ogrzewania lub przepływu prądu, bądź przez zastosowanie „naskórkowego” działania prądu, powiększającego oporność przewodu przy większych częstotliwościach. Prosta budowa klatkowego wirnika nie mogła być utrzymana i przy tych dodatkowych konstrukcjach.

Ostatnio były też robione próby osiągnięcia momentu obrotowego o dowolnej wartości w silnikach asynchronicznych przez sztuczne powiększenie oporności rzeczywistej przewodów wirnikowych zapomocą t. zw. „wypierania prądu w żłobku” przy ilościach obrotów znacznie odległych od synchronizmu.

Tęgo rodzaju silnik może być zbudowa-

ny bez pierścieni ślizgowych i bez jakich-
bądź oporników rozrządnych i kontaktów.
Nic nie stoi na przeszkodzie temu, żeby po-
siadał najbardziej niezawodny w działaniu
i najprostszy wirnik klatkowy o zwierają-
cych pierścieniach.

Na fig. 4 jest przedstawiona zależność
oporności rzeczywistej dla prądu zmienne-
go różnych przewodów żłobkowych od czę-
stotliwości wtórnej lub poślizgu, którego
wielkość się zmienia odwrotnie do ilości
obrotów n . Z porównania fig. 4 z fig. 3
wynika, że wykres osiągniętej przez silne
wypieranie prądu oporności, może się zbie-
gać z wykresem o dowolnym przebiegu
(fig. 3), przyczem oporność przy nieznac-
nych poślizgach zachowuje w większym
zakresie wartość niezmienną, natomiast
przy poślizgach o wyższej wartości bardzo
szybko wzrasta.

W silnikach o wirującym polu magne-
tycznym, odpowiadającym obecnym nor-
mom co do przeciążenia i wielkości normal-
nego poślizgu, oporność wirnika podczas
rozruchu posiada znacznie wyższą wartość,
niż oporność normalna i waha się w zale-
żności od wielkości silnika od 5-cio krotnej
wartości do 50-cio krotnej.

Wykres fig. 5 przedstawia powiększe-
nie oporności przez wypieranie prądu w
żłobkach wirników o średniej wielkości,
przyczem przekroje prostokątne prętów da-
ją oporność większą niż przekroje okrągłe.
Po za tem użyta jest miedź o dużej prze-
wodności, bardzo słaba izolacja i jako nor-
malna jest przyjęta częstotliwość o 50-ciu
okresach, co wszystko w zespole sprzyja
możliwie najskuteczniejszemu wypieraniu
prądu.

Jak to pokazują podane na wykresie
liczby, nawet w tym umyślnie wybranym
krajowym przykładzie, powiększenie o-
porności nie osiąga tej wartości, jaka jest
konieczna dla uskutecznienia wyżej wspo-
mnianych warunków. Zamiast 15-krotnej
oporności, otrzymuje się tylko 3-krotna.

Ten stosunek staje się jeszcze więcej nie-
korzystnym, jeżeli, jak to zazwyczaj ma
miejsce, zwierające pierścienie są o dość
znacznej oporności, tak że powiększenie
oporności prętów względnie mało wpływa
na całkowitą oporność wirnika. Wykres,
oznaczony linią przerywaną na fig. 5, po-
kazuje jakie zachodzą zmiany już przy
2-krotnej oporności pierścieni. Zresztą do-
brze wiadomem jest, że wirniki klatkowe
nie rozwijają większego momentu, tembar-
dziej przeto jest wskazane w takich wirni-
kach sztucznie powiększyć wypieranie
prądu.

Najprostszym środkiem dla osiągnięcia
tego jest zastosowanie większej głębokości
dla prętów. Można np. w opisanym wir-
niku przy głębokości dla miedzi prętów,
wynoszącej około 5 cm, osiągnąć powięk-
szenie oporności przez wypieranie prądu,
dochodzące do 5-ciokrotnej wartości. By-
łoby to wystarczającym dla mniejszych
silników, ale w mniejszych silnikach nie
można uskutecznić tak głębokich żłobków.
Dla większych silników niezbędna byłaby
znacznie większa głębokość dla prętów,
np. 15-krotnej oporności odpowiadałoby
15 cm głębokości, co i przy budowie tych
silników wywołałoby komplikacje.

Skuteczniejsze jest wypieranie prądu
przy zastosowaniu więcej niż jednego prze-
wodu w każdym żłobku. Te przewody na-
leży tak ułożyć, np. łącząc je w szereg,
żeby rozdział prądu na poszczególne prze-
wody był taki sam przy mniejszych i przy
większych częstotliwościach.

Przedmiotem wynalazku jest przeto o-
siągnięcie najbardziej dogodnych wymia-
rów przewodów, celem uskutecznienia moż-
liwie jaknajwiększego powiększenia opor-
ności przy rozruchu przez wypieranie prą-
du. Poniżej opisane badania pokażą, w
jaki sposób problem wynalazku może być
rozwiązany i zanim przejdziemy do szcze-
gółowego opisu, zaznaczymy, że osiągnę-
liśmy najlepsze rezultaty przy liczbowej

głębokości dla prętów, wahającej się między 2 a 2,5. Przedewszystkiem należy nadmienić, że wbrew ogólnie przyjętemu poglądom, wartość oporności dla prądu zmiennego przy znaczniejszem wypieraniu prądu z początku się nie zmniejsza, aczkolwiek jest stosowany podział przewodów w żłobku, lecz przeciwnie — wzrasta. Dopiero przy bardzo drobnym podziale przewodów zachodzi zmniejszenie oporności dla prądów zmiennych w dość znacznym stopniu, co zazwyczaj przy rozwiązywaniu innych problemów było pożądanem. Np. przy 8 cm całkowitej wysokości miedzi w żłobkach, dającej się osiągnąć w większych silnikach, uzyskujemy przy zastosowaniu jednego przewodu tylko 8-krotne powiększenie oporności, podczas gdy z najbardziej racjonalną ilością nad sobą ułożonych przewodów równą 4, skuteczniamy przy rozruchu 20-krotną oporność, która jest dostateczną dla wszystkich większych silników.

Punktem wyjścia obliczenia jest t. zw. liczbową głębokość żłobka, która może być określana przez wzór:

$$\delta = 2 \pi t \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \frac{f}{c}}$$

(porówn. R. Rüdenberg „Asynchrommotoren mit Selbstlauf durch tertiäre Wiebelströme“ „E T Z“ 1918, str. 501).

W tym wzorze t oznacza głębokość dla przewodu, d — grubość przewodu, b — szerokość żłobka, f — częstotliwość i c oporność właściwą przewodów w jednostkach bezwzględnych.

Jeżeli np. przewody są miedziane, częstotliwość prądu zmiennego równa się 50 i przewody są słabo izolowane, wtedy

$$\frac{d}{b} = 1, f = 50 \text{ i } c = 2000 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$$

$$\text{a więc } \delta = 2 \pi t \sqrt{\frac{50}{2000}}$$

$$\text{czyli } \delta = t.$$

Wykres fig. 6 przedstawia dla różnych podziałów przewodów (o ilości prętów $m = 1$ do $m = 5$) zależność przez wypieranie prądu wzrastającej oporności do tej liczbowej głębokości. Jak to wynika z fig. 6, każdej wymaganej wartości stosunku oporności w stanie spoczynku lub biegu odpowiada określona głębokość żłobka, poniżej której nie można osiągnąć żądanych oporności. Żeby skutecznie np. 14-krotne powiększenie oporności przy jednym pręcie ($m = 1$), niezbędna jest liczbową głębokość żłobka, równa 14. Przy dwóch nad sobą ułożonych sztabach ($m = 2$) liczbową głębokość żłobka wynosi około 9, przy 3 sztabach — 6,7, przy 4 sztabach — 6,9, przy 5 sztabach — 7,4, przy 6 sztabach — 8,1, przy 7 sztabach — 9,2, przy 8 sztabach — 10,4. Minimalna więc liczbową głębokość żłobka przy np. 14-krotnem powiększeniu wynosi 3,6. Poniżej tej głębokości żłobka, jak to wynika z wykresu, nie może być uskutecznione żądane powiększenie oporności przez wypieranie prądu.

Żeby materiał był racjonalnie wykorzystany, będzie zastosowana ta minimalna głębokość żłobka według niniejszego wyznaczenia. Jej zależność od żądanego stosunku oporności jest przedstawiona przerywaną linią (fig. 6). Gdy rozdzielimy minimalną głębokość żłobka przez ilość m przewodów, otrzymamy iloraz 2,1, oznaczający liczbową głębokość każdego przewodu i niezależny od ilości przewodów. Liczbowa głębokość dla pręta oblicza się, wychodząc z głębokości w cm tak samo, jak głębokości żłobków z powyższego wzoru, tak że liczbową głębokość dla pręta równa się:

$$G = \pi h \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \frac{f}{c}},$$

gdzie h oznacza wysokość przewodu, inne zaś litery oznaczają to samo, co i w pierwszym wzorze. O ile jest przyjęta jakaś liczbową głębokość żłobka, wystarczy ją

rozdzielić przez ok. 2,1, żeby otrzymać najbardziej racjonalny podział prętów. Liczbowa głębokość żłobka zaś mnożymy przez 2,1 dla jakiegobądź podziału przewodów. Wartość 2,1 może być w praktyce przekroczona i dochodzić do 2,5. Winien być również przyjęty taki układ rozrządu silników asynchronicznych o wirującym polu i zwartym wirniku, żeby mogła być wybrana liczbowa głębokość dla prętów o wartości między 2 a 2,5, przyczem zgodnie z wynalazkiem przewody wirnikowe, ułożone nad sobą w żłobkach, działają przy rozwijaniu momentu obrotowego i przez wypieranie prądu skuteczniejszą spotęgowaną oporność przy większych poślizgach.

Zastosowanie w praktyce powyżej opisanych stosunków liczbowych prowadzi częstokroć do żłobków znacznie głębszych od dotychczas używanych i dlatego dla uniknięcia nieracjonalnego użycia miedzi, pożądanem jest, żeby szerokość prętów w żłobkach była mniejszą od dotąd stosowanej i o takiej wielkości, która powoduje dopuszczalne straty w miedzi wirnika. Wirniki, zbudowane według tego wynalazku, posiadają przeto szerokie o słabem nasyceniu żęby, co wpływa dodatnio na zmniejszenie strat pędacyjnych. Te ostatnie, jak wiadomo, są największe podczas pełnego biegu i znikają w stanie spoczynku, tak że zmniejszenie tych strat jest dalszem pożądanem ulepszeniem.

Jeżeli przy zastosowaniu tego wynalazku obliczenia tak wypadają, że niezbędne jest ułożenie dwóch lub więcej prętów w każdym żłobku, uzwojenie wirnika może być wykonane jak zwykle trój- lub wielofazowe i o dowolnych połączeniach czołowych, w postaci cewek, krat pancernych. Wszystkie przewody każdego żłobka mogą być wtedy połączone szeregowo wiadomym sposobem.

Można również wykonać wirnik o kształcie klatkowym tak, że końce przewodów każdego żłobka są ze sobą połączone i na-

stępnie na każdej stronie są te przewody zwarte zapomocą pierścienia. Ażeby i wtedy zachować równomierny rozdział prądu w przewodach każdego żłobka przy jakiegobądź częstotliwości, jest pożądanem skręcanie przewodów, co ma ten skutek, że pole żłobkowe indukuje równe siły elektromotoryczne.

Tego rodzaju skręcanie lub splatanie było zazwyczaj projektowane i wykonywane celem zapobiegania wypierania prądu. W tym wynalazku natomiast skręcanie ma na celu spotęgowanie wypierania prądu i w szczególności służy do osiągnięcia najbardziej racjonalnego układu, który ma również miejsce przy zastosowaniu głębokości dla pręta o wartości 2,1.

Skręcone przewody mogą być utworzone bądź przez okręcanie przewodami jednego środkowego przewodu, bądź z lepszym wynikiem w ten sposób, że są związane w jedną okrągłą rurę, podlegającą następnie spłaszczeniu. Te przewody są oczywiście należycie od siebie izolowane.

Jak wynika z powyższego opisu, wypieranie prądu jest zjawiskiem skomplikowanym i dlatego niemożliwe było ujęcie jego w matematyczne wzory drogą luźnych doświadczeń, tembardziej że te wzory miały służyć do zbudowania silnika o określonych własnościach rozrządczych; powyższe rezultaty zostały otrzymane na zasadzie dokładnych badań odnośnych warunków zasadniczych i powyżej wskazanych zawiłych obliczeń.

Oporność może być jeszcze bardziej powiększona, o ile zawartość żłobków będzie całkowicie lub częściowo magnetyczna, dzięki czemu początkowe pole magnetyczne będzie mogło być znacznie spotęgowane. Powyżej podany wzór dla liczbowej głębokości żłobka określa się wtedy z ogólnego wzoru

$$\delta = 2 \pi A \sqrt{\frac{\eta}{c} f},$$

przyczem obecnie stosunek $\frac{\eta}{\zeta}$ średniej magnetycznej przewodności właściwej w przekroju poprzecznym do średniej elektrycznej oporności właściwej wyraża się w długości zawartości żłobka. Wykresy fig. 6 pozostają zasadniczo takie same. Można więc, gdy przez żądane powiększenie oporności jest dana liczbową głębokość żłobka, zmniejszyć jeszcze znacznie rzeczywistą głębokość żłobka, powiększając przewodność magnetyczną żłobka i w ten sposób osiąga się wymiary łatwiej pod względem konstrukcyjnym wykonalne.

Racjonalne jest zastosowanie przewodów, których jedna część jest wykonana z materiału o dużej przewodności elektrycznej i druga część o dużej przewodności magnetycznej, jak to tytułem przykładu jest pokazane na fig. 7. Wirnik klatkowy o tego rodzaju przewodach jest przedstawiony na fig. 8. Te przewody składają się z kolejnych miedzianych i żelaznych prętów, przyczem przewody są raz jeden w środku krzyżowane, a na swych końcach są ze sobą połączone i zwarte pierścieniami. Żelazne pręty mogą być przytem uży-

te jako przewodniki prądu, co oczywiście sprzyja najbardziej racjonalnemu wykorzystaniu materiału.

Zastrzeżenia patentowe.

1. Urządzenie do rozrządu silników asynchronicznych o wirującym polu magnetycznym i wirniku zwartym, w którym gromadnie ułożone nad sobą w żłobkach przewody wirnikowe rozwijają normalny moment obrotowy i przedstawiają przy większych poślizgach oporność powiększoną wskutek wypierania prądu, znamienne liczbową głębokością dla prętów o wartości między 2 a 2,5.

2. Wirnik zwarty według zastrzeżenia 1, znamienno splotem i krzyżowaniem przewodów w każdym żłobku.

3. Urządzenie według zastrzeżenia 1, znamienne tem, że działanie żłobkowego rozproszenia magnetycznego na wypieranie prądu jest spotęgowane przez wstawione warstwy magnetyczne.

Siemens-Schuckertwerke
Gesellschaft mit beschränkter
Haftung.

Zastępca: I. Myszczyński,
rzecznik patentowy.

Fig. 1.

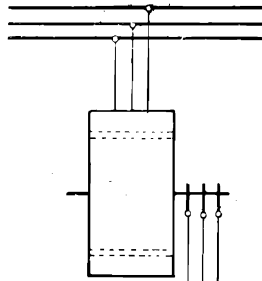


Fig. 6

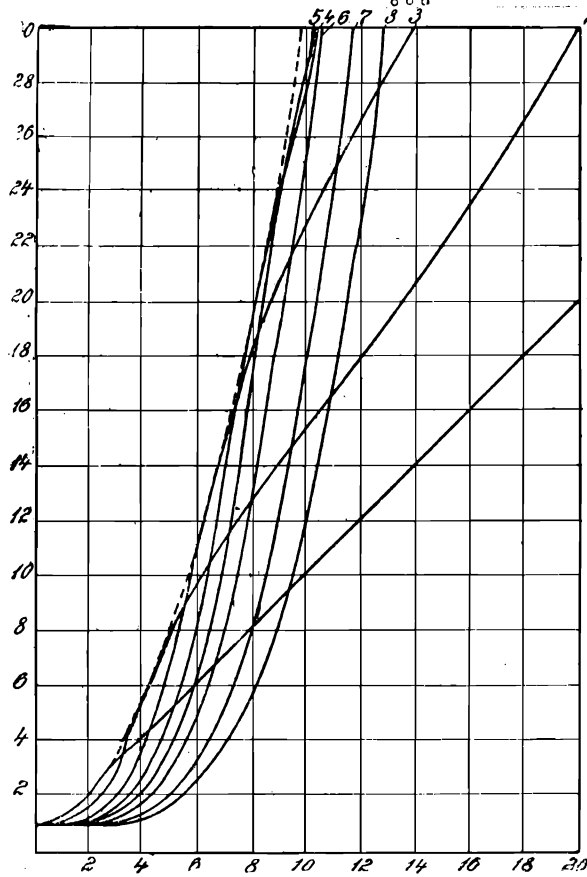


Fig. 7

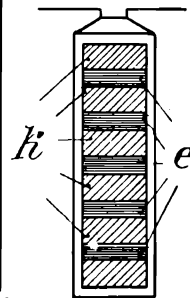


Fig. 8

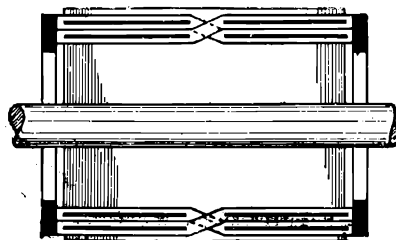


Fig.2

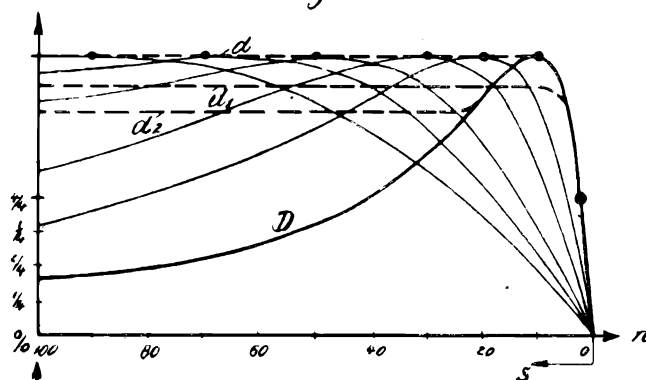


Fig.3

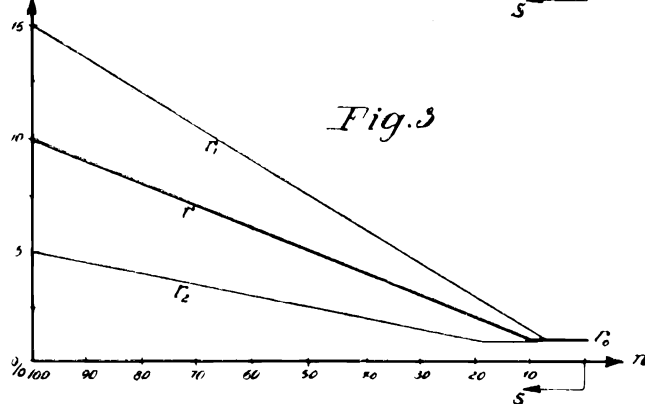


Fig.4

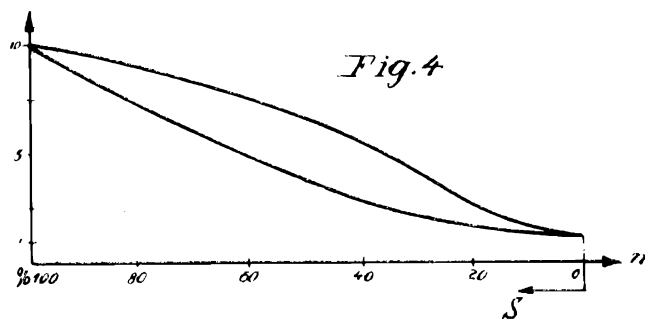


Fig.5

