

IRENEUSZ AKSAMIT, ZENON DEKO, ZDZISŁAW JANSON

Energopomiar - Gliwice

SAMOCZYNNY REGULATOR NAPIĘCIA
DLA GENERATORÓW SYNCHRONICZNYCH DUŻEJ MOCY

Streszczenie. W artykule omówiono schemat i zasadę działania samoczynnego regulatora napięcia typu AR1+3, który został zaprojektowany i wykonany w ZBiP. "Energopomiar". Podano również wyniki prób wykonanych podczas pracy regulatora z generatorem 100 MW.

W s t e p

W ciągu kilku ostatnich lat daje się zauważyć bardzo szybki rozwój techniki transduktorowej. Wzmacniacze transduktorowe znajdują obecnie powszechne zastosowanie we wszelkich układach samoczynnej regulacji i sterowania, wypierając wzmacniacze hydrauliczne, elektromechaniczne, amplitudynowe, a w wielu przypadkach elektronowe. Jest to możliwe dzięki znacznemu postępowi w technologii produkcji blach transformatorowych i specjalnych, przeznaczonych na rdzenie wzmacniaczy magnetycznych. Drugim czynnikiem decydującym o szybkim rozpowszechnianiu się wzmacniaczy magnetycznych a szczególnie amplistatowych, to rozwój w dziedzinie prostowników stykowych. Bardzo małe gabaryty i coraz lepsze parametry prostowników germanowych i krzemowych stwarzają dalsze możliwości zastosowań wzmacniaczy magnetycznych.

Zalety wzmacniaczy magnetycznych sprawiły, że są one coraz częściej stosowane jako człony wzmacniające w regulatorach napięcia produkowanych przez szereg firm zagranicznych. Pomimo produkcji w kraju dużych generatorów regulatory napięcia dla nich są jak dotychczas importowane. Fakt ten skłonił "Energopomiar" do opracowania i wykonania regulatora napięcia, który spełniałby możliwie wszystkie wymagania stawiane nowoczesnym regulatorom generatorów dużej mocy.

Cechami, wyróżniającymi omawiany regulator są:

- bardzo dobre wskaźniki dynamiczne (duża dobroć regulacji, duża szybkość oddziaływania),
- duża pewność ruchowa,
- długa żywotność - brak części komutacyjnych, ruchomych, styków itp.,
- łatwe dopasowywanie do różnych turbozespołów,
- prostota obsługi,
- minimalna potrzeba konserwacji,
- natychmiastowa gotowość działania.

Opis regulatora

Dane ogólne

- Charakterystyka: astatyczna.
- Człon pomiarowy: 2 przekładniki napięciowe X/100 V w układzie "V" zasilają filtr składowej zgodnej napięcia, przy zastosowaniu kompondacji regulatora przekładnik prądowy X/5A.
- Nieczułość regulatora: praktycznie równa zeru.
- Wpływ częstotliwości: działanie regulatora niezależnione jest od zmian częstotliwości.
- Kompoundacja regulatora: bierna $\pm 15\%$, w razie potrzeby dodatkowo - czynna $\pm 10\%$.
- Zasilanie: trójfazowy generator samowzbudny 3x380 V na wspólnym wale z turbozespołem.

Zastosowanie

Regulator typu AR może być łatwo dostosowany do pracy z każdym turbozespołem, który posiada wzbudnicę z dwoma oddzielnymi uzwojeniami wzbudzenia. Zasadniczo regulator jest przewidziany do pracy z generatorami o mocy 100 MW i większej. Oczywiście może być stosowany również przy generatorach mniejszej mocy.

Opis schematu i zasada działania

Regulator składa się z trzech zasadniczych części:

- człon pomiarowy,
- wzmacniacz,
- urządzenia dodatkowe.

W zależności od różnych rozwiązań członu pomiarowego i sprzężenia zwrotnego rozróżnia się trzy odmiany regulatorów: AR1, AR2, AR3.

Człon pomiarowy wszystkich trzech typów regulatorów posiada filtr składowej kolejności zgodnej napięcia R_{1f} , R_{2f} , D_f (rys.1,2) zasilany dwoma przekładnikami w układzie "V" o przekładni $X/100$ V.

Dla uzyskania ujemnej lub dodatniej kompensacji biernej służy opornik nastawialny R_k zasilany prądem z przekładnika prądowego o przekładni $X/5$ A.

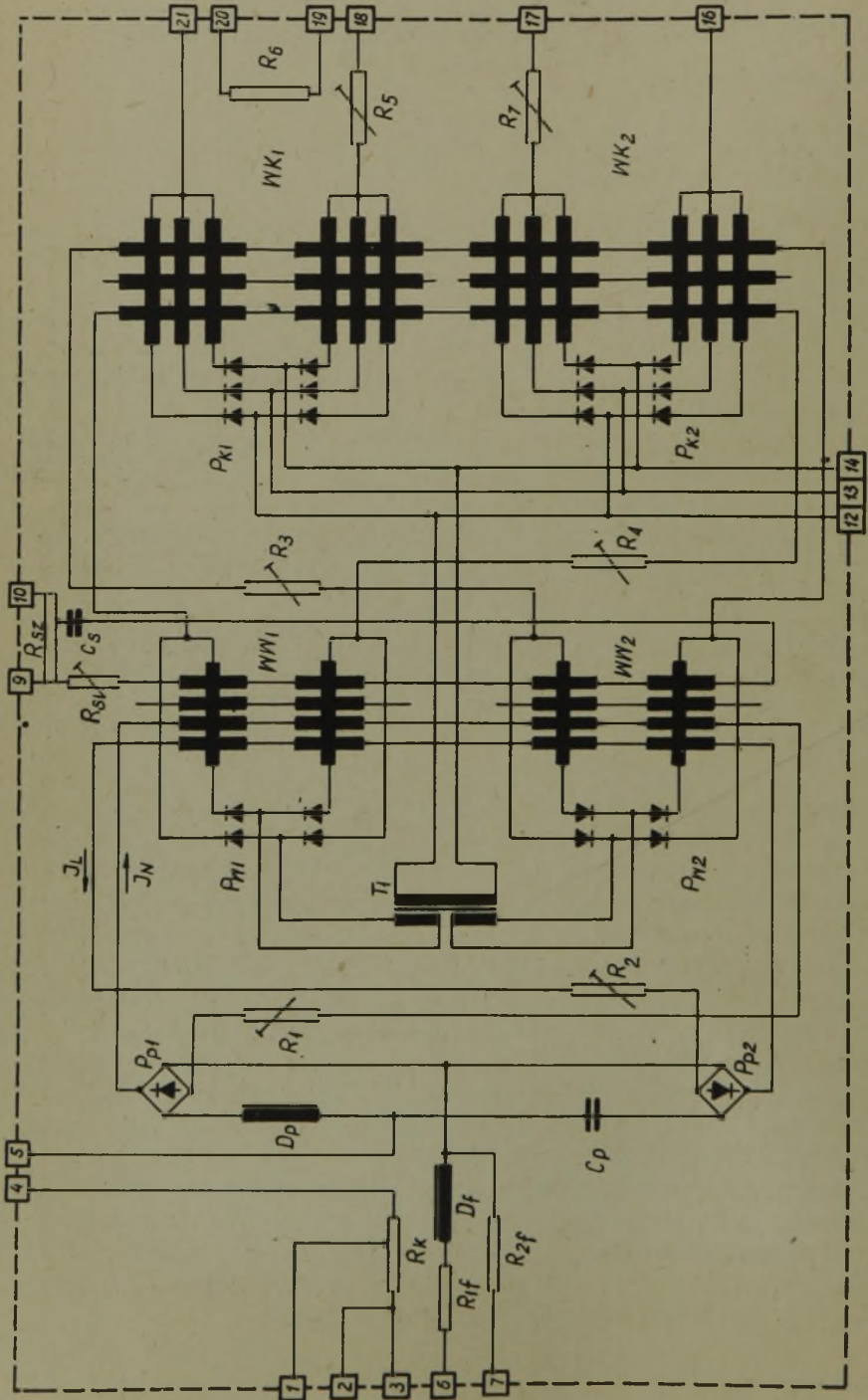
Suma napięcia składowej kolejności zgodnej i spadku napięcia na oporności R_k proporcjonalnego do mocy biernej generatora podawana jest następnie na:

- obwody elementu liniowego (C_p , R_2 , P_{p2}) i nieliniowego (D_p , R_1 , P_{p1}) w przypadku regulatora typu AR1, lub
- obwód porównania napięcia w przypadku regulatorów typu AR2 i AR3.

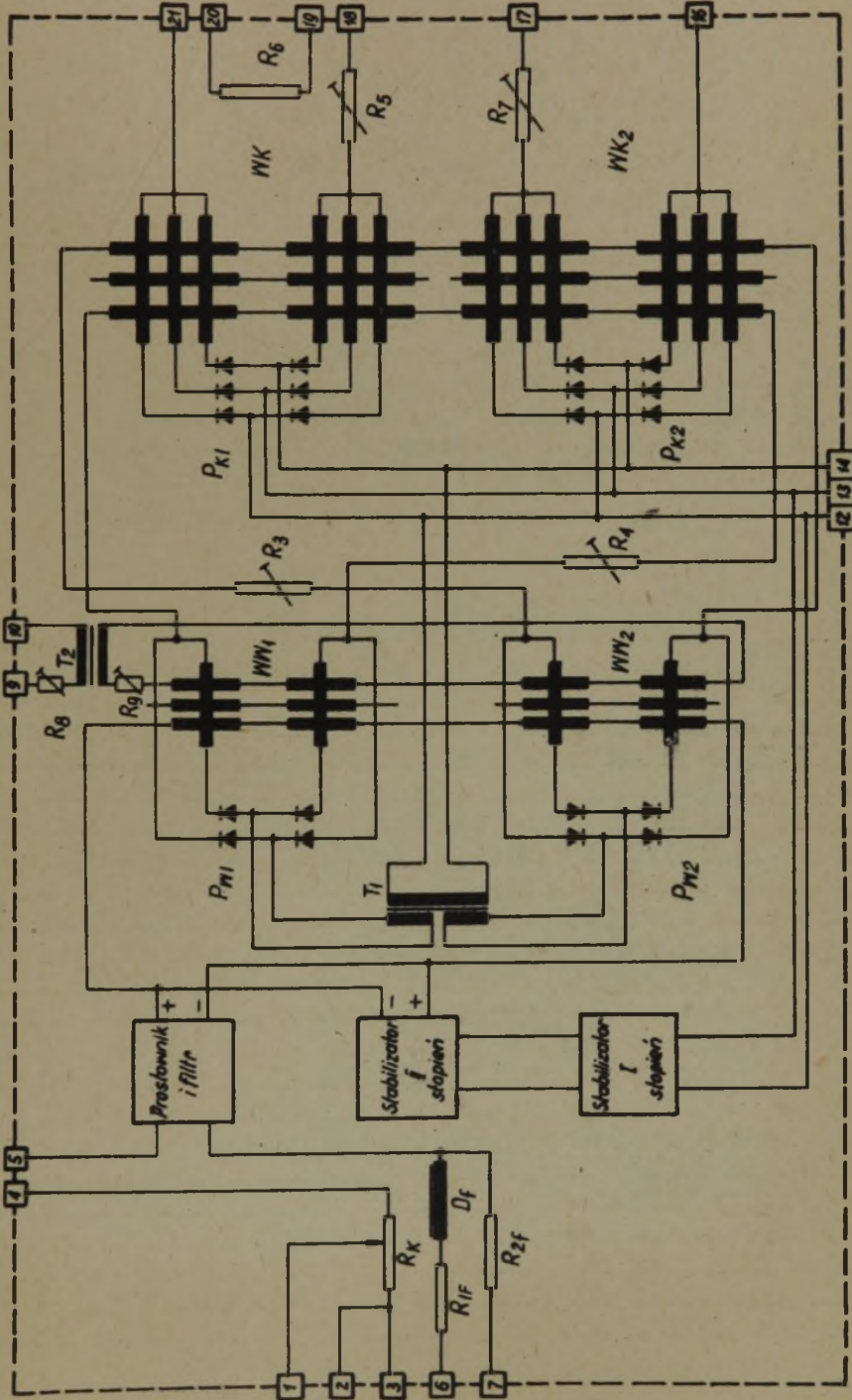
Charakterystyki statyczne obu rodzajów członów pomiarowych i ich schematy ideowe przedstawiają rys.3 i 4.

Elementem nieliniowym członu pomiarowego w regulatorze AR1 jest dławik nasycony D_p . Dla skompensowania wpływu częstotliwości na prąd obciążenia regulatora, w obwodzie elementu liniowego zastosowano pojemność C_p . Oporności R_1 i R_2 służą do odpowiedniego doboru prądów w obu obwodach. Obwody te pracują na dwa oddzielne uzwojenia sterujące wzmacniaczy wstępnych, przy czym wypadkowe amperozwoje sterujące stanowią różnicę amperozwojów obu uzwojeń (rys.3).

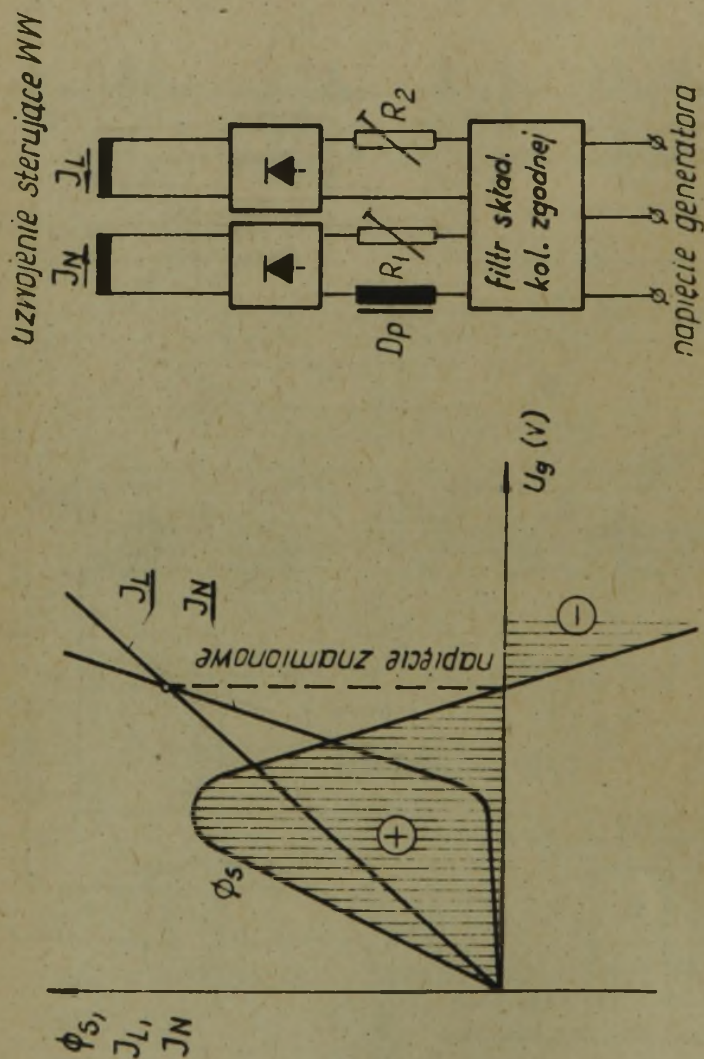
Człon pomiarowy regulatorów typu AR2 i AR3 (rys.4) składa się: z dwustopniowego stabilizatora będącego źródłem wzorcowego napięcia odniesienia oraz z obwodu, w którym płynie prąd proporcjonalny do napięcia generatora. Stabilizator napięcia wzorcowego przyłączony jest do obwodu zasilającego regulatora i zapewnia stabilizację w granicach (0,2...1,3) znamionowego napięcia zasilania.



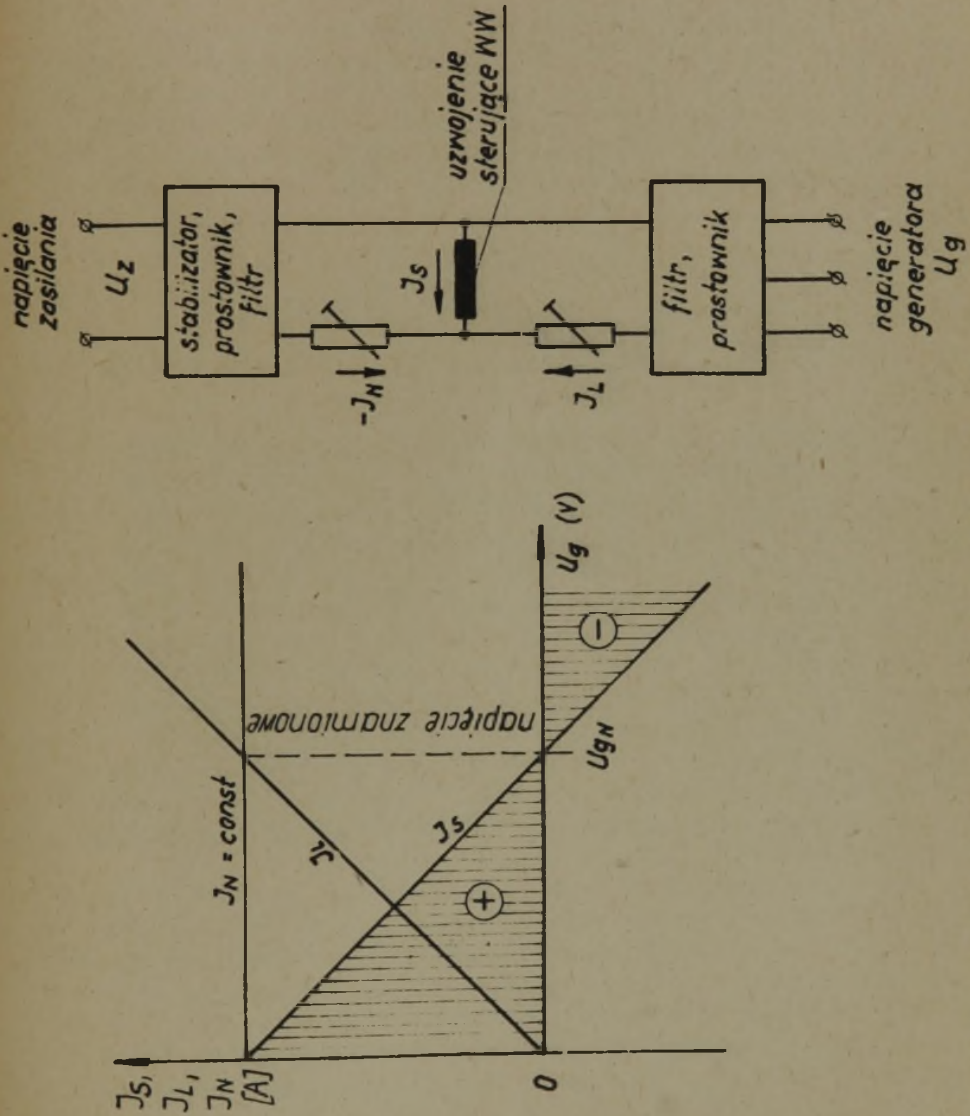
Rys. 1. Schemat ideowy regulatora napięcia typu AR1



Rys.2. Schemat ideowy regulatora napięcia typu AR3



Rys.3. Człon pomiarowy regulatora AR1



Rys.4. Człon pomiarowy regulatorów typu AR2, AR3

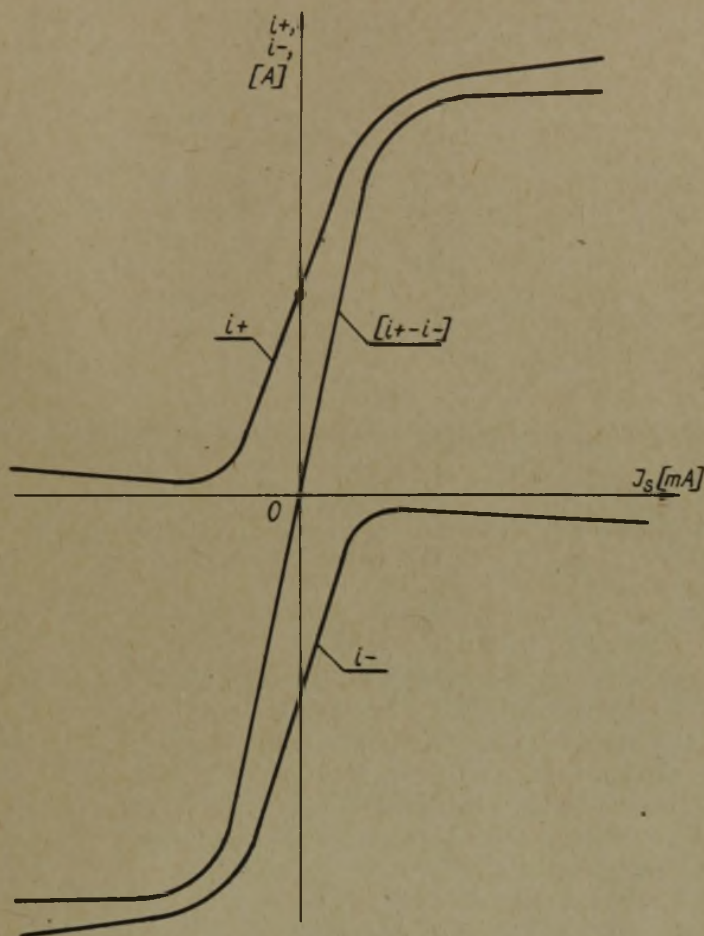
Prąd sterujący I_S będący różnicą prądów płynących w obwodach napięcia wzorcowego i napięcia proporcjonalnego do napięcia generatora jest wielkością wyjściową członu pomiarowego. Wielkość i kierunek prądu sterującego zależą od wielkości i kierunku odchyłki napięcia generatora od wartości zadanej.

Członem wzmacniającym prąd sterujący I_S jest dwustopniowy wzmacniacz amplistatowy. Wzmacniacze wstępne (W_1, W_2 - rys. 1.2.10) są wykonane jako dwa jednofazowe amplistaty prądu stałego obciążone przeciwsobnie uzwojeniami sterującymi wzmacniaczy końcowych. Każdy ze wzmacniaczy wstępnych posiada (w przypadku regulatorów typu AR2 i AR3) trzy uzwojenia sterujące:

- uzwojenie główne sterowane prądem I_S ,
- uzwojenie zewnętrznego sprzężenia zwrotnego,
- uzwojenie stałego podmagnesowania, w celu doboru punktu pracy.

W stanie ustalonym, gdy prąd sterujący $I_S = 0$, prądy obciążenia wzmacniaczy wstępnych i_+ i i_- są sobie równe i przepływając przez symetryczne uzwojenia sterujące wzmacniaczy końcowych wywołują strumienie wzajemnie znoszące się (rys. 5). Wzmacniacze końcowe ($WK1, WK2$ - rys. 1.2.10) stanowią dwa trójfazowe amplistaty obciążone przeciwsobnie oddzielnymi uzwojeniami wzbudzenia wzbudnicy: wzmacniacz końcowy "plusowy" $WK1$ pracuje na uzwojenie bocznikowe, zaś "minusowy" $WK2$ połączony jest z uzwojeniem obcowzbudnym wzbudnicy. W stanie ustalonym, w znamionowych warunkach obciążenia generatora ($I_S = 0$) wzmacniacz końcowy "plusowy" obciążony jest prądem zapewniającym wymagane dla tych warunków, wzbudzenie wzbudnicy; wzmacniacz "minusowy" pracuje w tym czasie na biegu jałowym (rys. 6a).

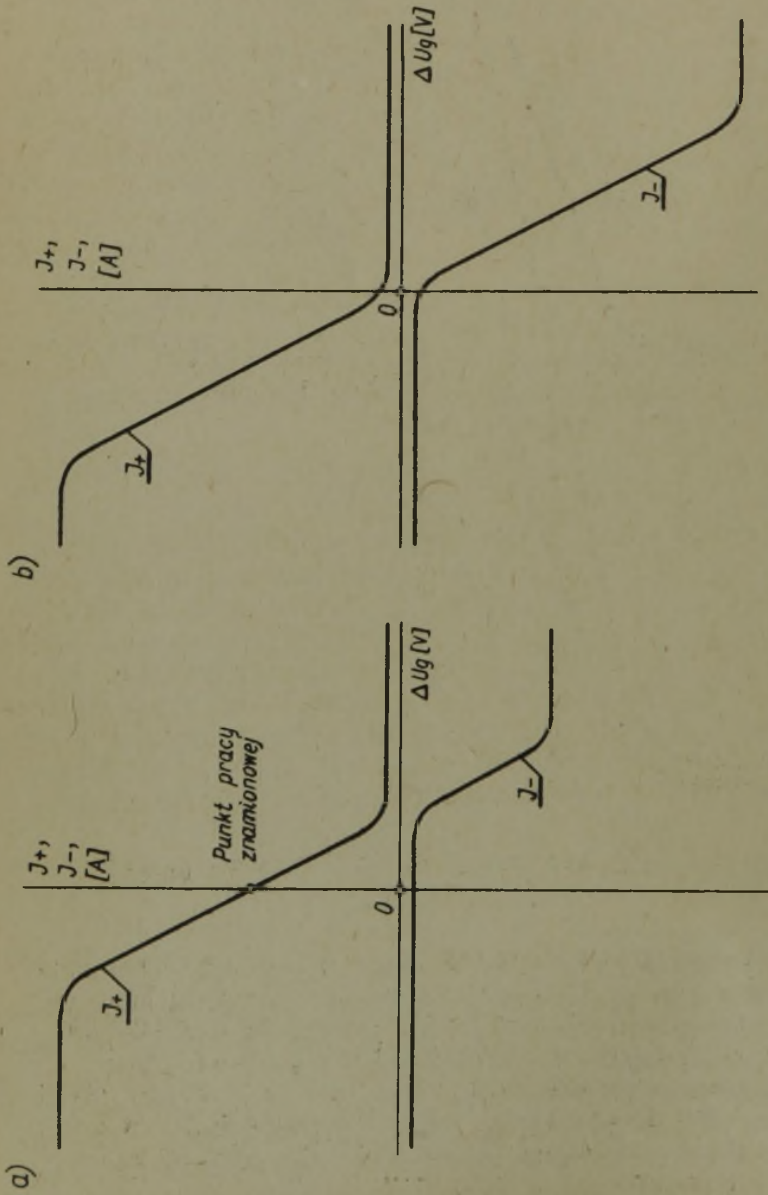
Z chwilą naruszenia równowagi w układzie, stopień "plusowy" obciąża się stosownie do wielkości i kierunku zaistniałej odchyłki napięcia generatora. Dzięki możliwości ujemnego przewzbudzenia wzbudnicy prądem stopnia "minusowego" oraz dzięki dużemu współczynnikowi forsowania uzyskuje się w stanach nieustalonych dużą szybkość zmian napięcia wzbudzenia generatora, co umożliwia osiągnięcie dużej dobroci regulacji. Regulator może również współdziałać ze wzbudnicą pracującą w układzie samowzbudnym (rys. 6b), wówczas w znamionowych warunkach obciążenia generatora wzmacniacze końcowe ("plusowy" i "minusowy") pracują prawie w stanie jałowym.



Rys.5. Charakterystyki statyczne wzmacniaczy wstępnych

Z chwilą naruszenia równowagi obciąża się odpowiedni stopień końcowy regulatora stosownie do wartości i kierunku zaistniałej zmiany napięcia generatora. Jednak ze względu na lepszą stabilność, współdziałanie regulatora ze wzbudnicą pracującą w układzie obcowzbudnym jest bardziej korzystne. Regulatory typu AR posiadają elastyczne sprzężenie zwrotne obejmujące regulator i wzbudnicę. Sprzężenie zwrotne może być dwojakiego rodzaju:

- oporowo-pojemnościowe (AR1, AR2),
- indukcyjne, przy zastosowaniu transformatora stabilizacyjnego (AR3).



Rys. 6. Rodzaje pracy wzbudnicy i regulatora

a) Wzbudnica pracuje w układzie obcowzbudnym; b) wzbudnica pracuje w układzie samowzbudnym

Parametry sprzężenia zwrotnego są nastawialne w bardzo szerokim zakresie, co umożliwia dobranie optymalnych wielkości dla danych parametrów maszyn. Zasilanie regulatora pobierane jest z samowzbudnego generatora synchronicznego zainstalowanego na wspólnym wale z turbozespołem. Dzięki takiemu rozwiązaniu osiąga się maksymalną pewność ciągłości zasilania wzmacniaczy niezależnie od zaburzeń sieciowych. Zasilanie układów wzbudzenia z umieszczonego na wale turbozespołu generatora pomocniczego uważane jest obecnie powszechnie za najpewniejsze z punktu widzenia eksploatacji. Napięcie zasilania dobierane jest w zależności od wymaganej mocy wyjściowej regulatora - typową wielkością jest napięcie trójfazowe 3×380 V.

Do urządzeń dodatkowych regulatora należą: trójpołożeniowy przełącznik oraz amperomierz znajdujący się w obwodzie wyjściowym stopnia "plusowego". Amperomierz służy do kontroli obciążenia stopnia plusowego w czasie pracy i podczas włączania lub wyłączania regulatora.

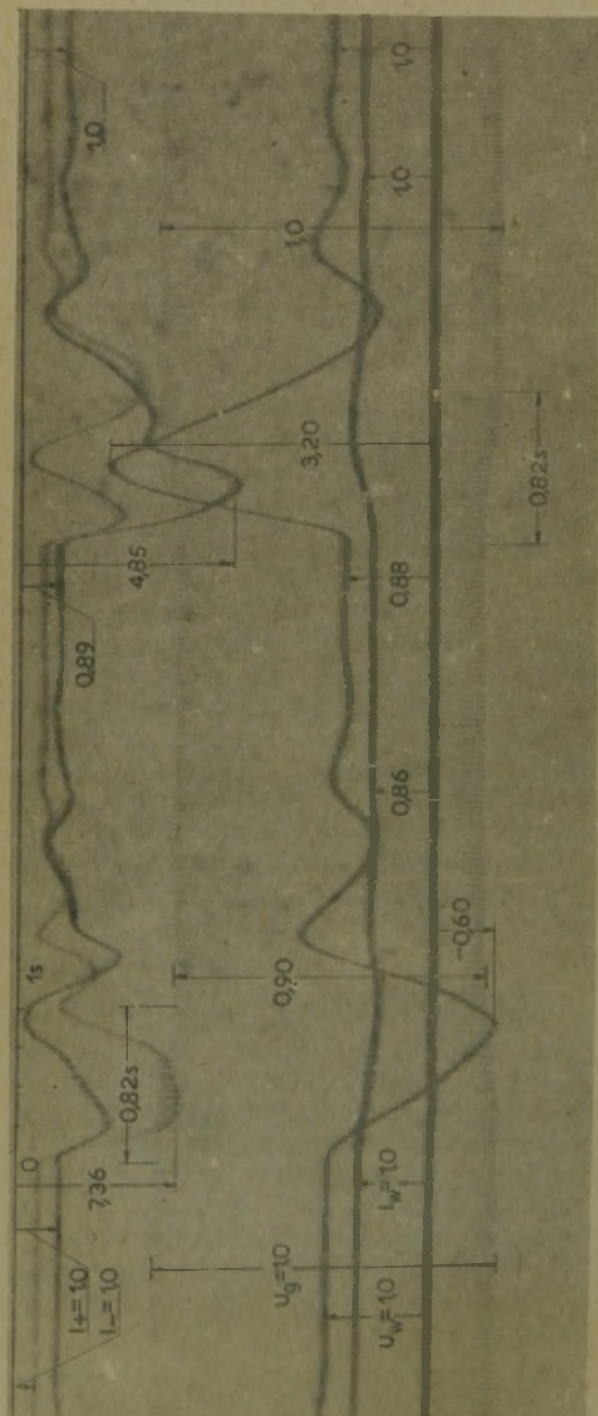
Budowa

Regulator zabudowany jest w typowej szafie pomiarowej. W zależności od wymagań i miejsca zainstalowania szafa może mieć budowę otwartą lub może być zaopatrzona w drzwi umożliwiające zamknięcie przedniej części regulatora. Części wchodzące w skład regulatora zgrupowane są w funkcjonalnie wyodrębnione podzespoły, zabudowane na oddzielnych płytach. Obwody wyjściowe i wejściowe tych podzespołów doprowadzone są do listw, zaciskowych, co umożliwia w razie potrzeby łatwą i szybką kontrolę pracy poszczególnych obwodów regulatora.

Eksploatacja

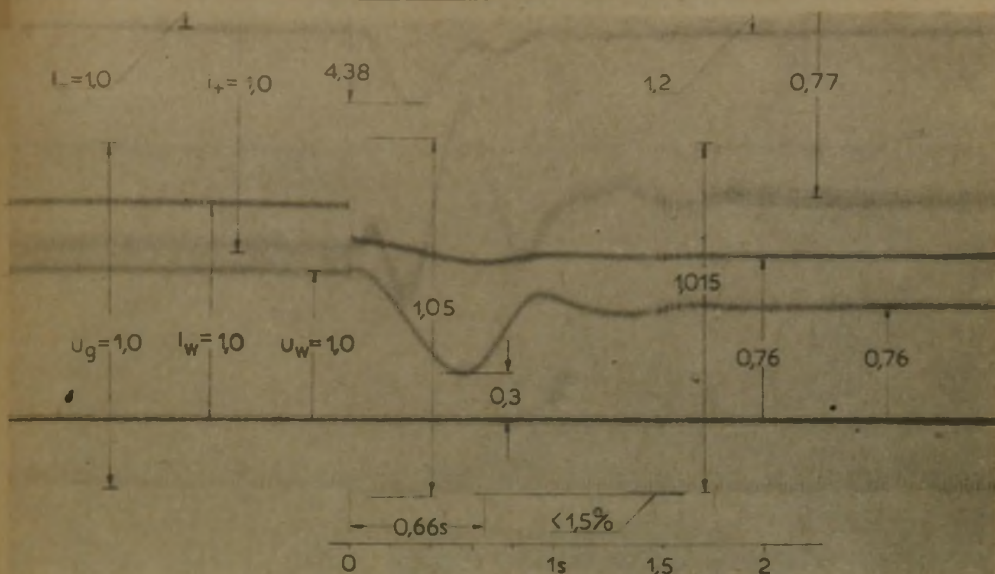
Włączanie i wyłączanie regulatora

Regulator można włączać i wyłączać przy dowolnym obciążeniu lub w czasie biegu jałowego generatora. Do tego celu służy trójpołożeniowy przełącznik "Reg. ręczna" - "Wyrównanie" - "Reg. samoczynna". W pozycji "Wyrównanie" stopień "plusowy" obciążony jest oporem balastowym. Bezzaburzeniowe przełączenie z regulacji ręcznej na samoczynną i odwrotnie może odbywać się przy obciążeniu regulatora oznaczonym czerwoną kreską na amperomierzu kontrolnym.

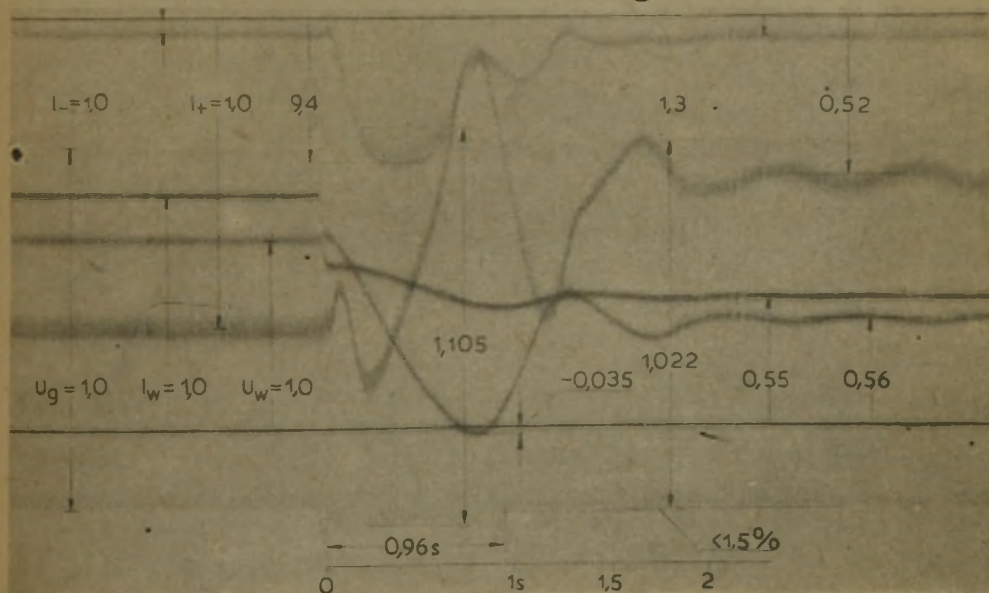


Rys. 7. Zaburzenia w pracy układu samoczynnej regulacji z regulatorem typu AR2 w czasie biegu jaźowego generatora

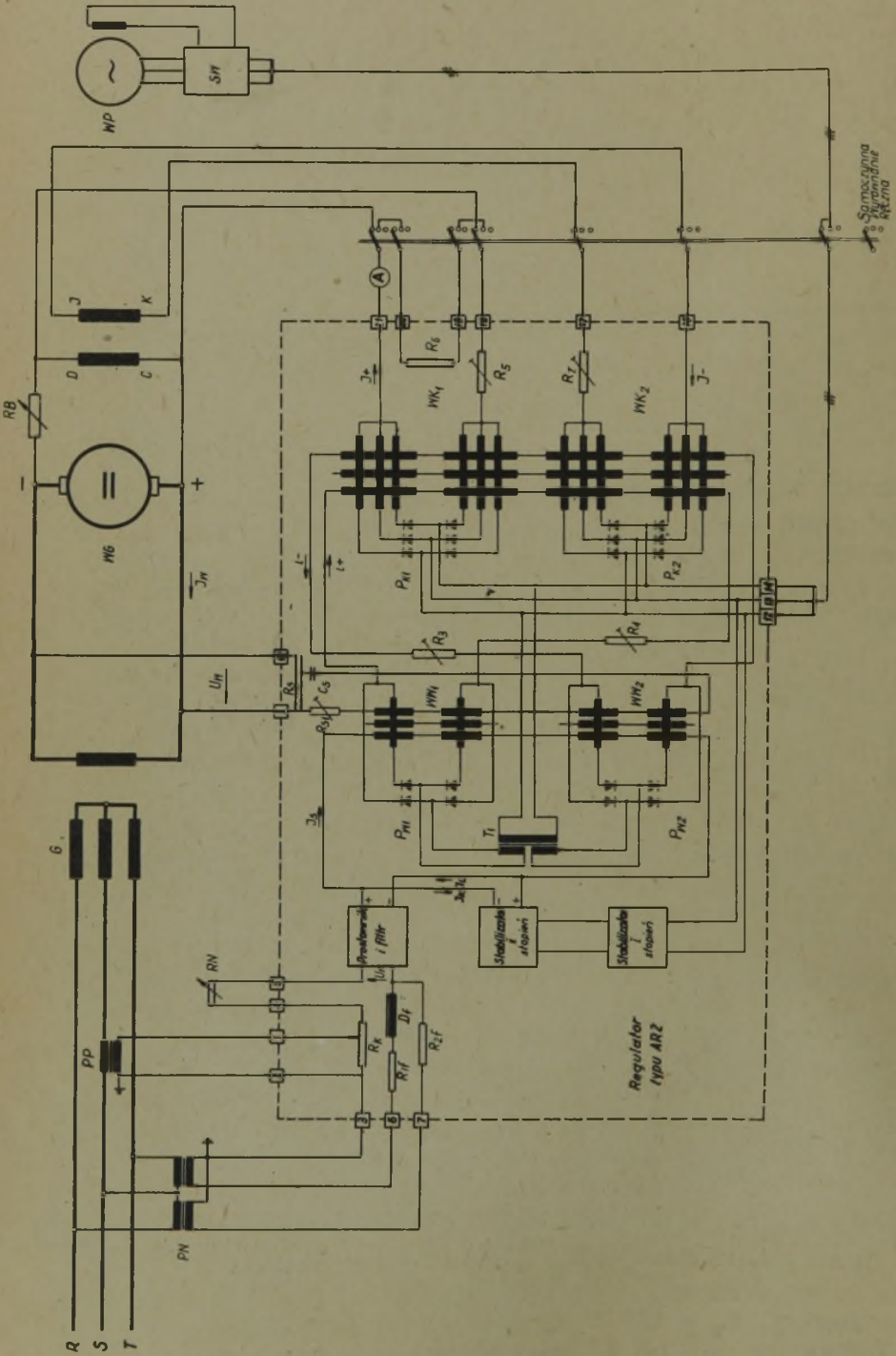
Odczyty przed zaburzeniem: napięcie generatora $U_g = 13,5$ kV, napięcie wzбудniocy $U_w = 113$ V, prąd obciążenia "plusowego" stopnia regulatora $I_+ = 1,6$ A, prąd obciążenia "minusowego" stopnia regulatora $I_- = 0,6$ A



Rys.8. Zrzut części znamionowej mocy biernej generatora (30 MVA)
 Wskazania przed zrzutem: Napięcie generatora $U_g = 13,8$ kV, napięcie wzбудnicy $U_w = 154$ V, prąd obciążenia "plusowego" stopnia regulatora $I_+ = 2,1$ A, prąd obciążenia "minusowego" stopnia regulatora $I_- = 0,55$ A, moc bierna generatora $Q_g = 30$ MVar, moc czynna generatora $P_g = 2$ MW



Rys.9. Zrzut znamionowej mocy biernej generatora (75 MVA)
 Wskazania przed zrzutem: napięcie generatora $U_g = 14,5$ kV, napięcie wzбудnicy $U_w = 250$ V, prąd obciążenia "plusowego" stopnia regulatora $I_+ = 3,65$ A, prąd obciążenia "minusowego" stopnia regulatora $I_- = 0,35$ A, moc bierna generatora $Q_g = 75$ MVar, moc czynna generatora $P_g = 4$ MW



Rys. 10. Układ samoczynnej regulacji napięcia z regulatorem AR2

Konserwacja

Dzięki statycznej budowie regulatora, w którym brak jakichkolwiek części ruchomych, komutujących itp. konserwacja regulatora jest ograniczona do minimum, wskazana jest tylko, nie częściej niż co dwa lata, kontrola podstawowej charakterystyki statycznej regulatora.

Wyniki prób regulatora

Rys.7...9 przedstawiają oscylogramy zdjęte podczas prób pracy samoczynnego regulatora typu AR2 z generatorem 100 MW o danych:

Typ: TW - 100 - 2, 13,8 kV, 117,5 MVA, 4925 A, $\cos \varphi = 0,85$

Dane wzbudnicy:

Typ: WT - 300 - 3000, 400 V, 300 kW, 750 A.

Rys.7 przedstawia oscylogram zaburzeń w zamkniętym układzie regulacji przy pracy generatora na biegu jałowym i przy znamionowym napięciu. Zaburzenia wywoływano w członie pomiarowym regulatora przez 10%-ową zmianę zadanego napięcia. Wszystkie wielkości napięć i prądów podano w wartościach stosunkowych w odniesieniu do wartości odczytanych bezpośrednio przed zaburzeniem. Prąd stopnia końcowego "minusowego" osiąga swą wartość maksymalną po czasie niespełna 0,2 sek. Dzięki temu przewzbudzenie napięcia wzbudnicy w kierunku ujemnej wartości występuje już po ok. 0,36 sek. Całkowity czas wyregulowania napięcia generatora do nowej ustalonej zadanej wartości wynosi zaledwie 0,82 sek.

Rys.8 i 9 przedstawiają oscylogramy zrzutów połowy i pełnej mocy biernej generatora pracującego z regulatorem AR2. Jako kryterium oceny szybkości ustalania się zaburzeń przyjęto czas, po którym napięcie generatora nie przekracza 101,5% napięcia ustalonego po zakończeniu się procesów przejściowych. Po zrzucie 30 MVar czas ustalania się napięcia wynosi 0,66 sek, pierwsze przeregulowanie napięcia wzbudnicy osiąga wartość 30% napięcia przed zrzutem.

Zrzut znamionowej mocy biernej (75 MVar) wywołuje zaburzenie w napięciu generatora, które ustala się po czasie 0,96 sek. Wzbudnica zostaje chwilowo przewzbudzona do ujemnej wartości napięcia (ok. - 3,5%).

Rękopis złożono w redakcji w marcu 1963 r.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

В статье приводится схема и принцип действия автоматического регулятора напряжения, запроектированного и выполненного предприятием "Энергопомяр". Указаны также результаты испытаний, произведенных во время работы регулятора с генератором 100 мвт.

LE RÉGULATEUR AUTOMATIQUE DE LA TENSION POUR LES GÉNÉRATEURS SYNCHRONES DE GRANDE PUISSANCE

Dans cet article on a discuté le schéma et le principe de fonctionnement du régulateur automatique de la tension dont le projet et l'exécution ont été faits par l'établissement des recherches et des mesures "Energopomiar". On a aussi indiqué les effets des essais exécutés en régime d'un générateur 100 MW.