

JERZY KUBEK, JERZY HICKIEWICZ

Katedra Maszyn Elektrycznych

EDWARD PAŁKA

ZEOPd - Katowice

UKŁAD SAMOCZYNNYJ REGULACJI NAPIĘCIA TURBOGENERATORÓW

Streszczenie. Omówiono zasadę działania, budowę i dane techniczne transduktorowo-amplidyńowego samoczynnego regulatora napięcia generatora synchronicznego, wykonanego w Katedrze Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej oraz różne sposoby rozwiązania napędu amplidyńy. Podano charakterystyczne wielkości przebiegów regulacyjnych, wyznaczone na podstawie przedstawionych oscylogramów.

1. Zadania stawiane układom regulacji napięcia

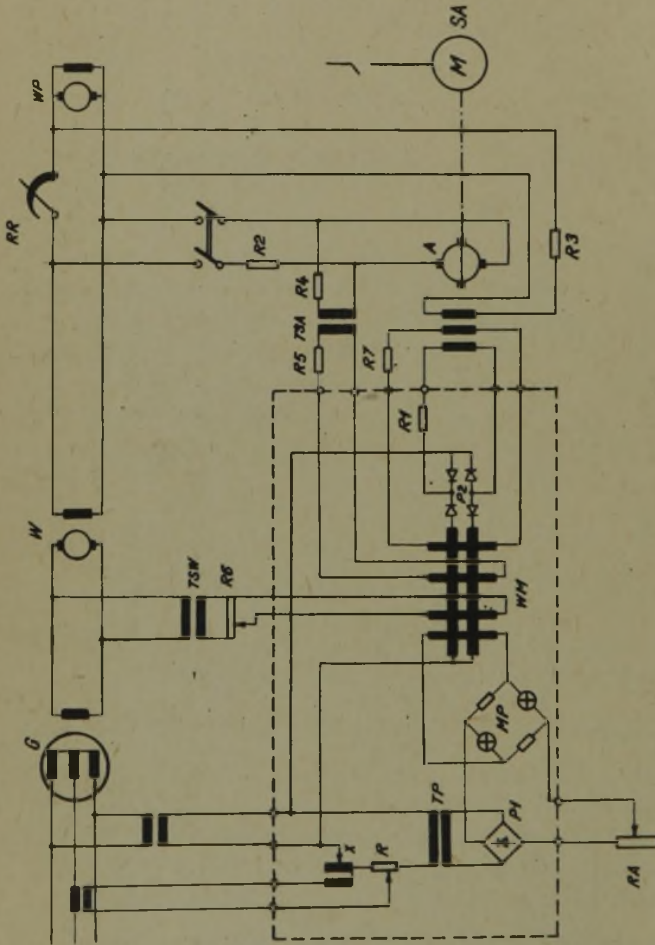
Zadania stawiane nowoczesnym układom regulacji napięcia można uszeregować według następującej kolejności:

1) Duża szybkość regulacji przy nagłych zakłóceniach.

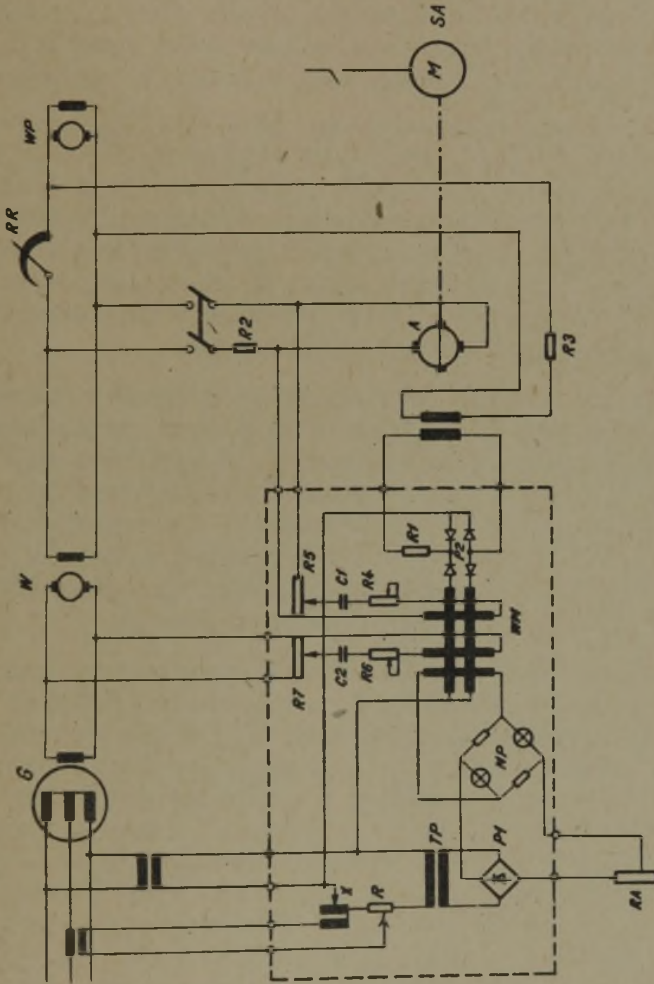
2) Duża dokładność regulacji. Możliwość celowego uzależnienia poziomu napięcia regulowanego od szeregu czynników zakłócających np. od biernego i czynnego prądu obciążenia generatora. Ograniczenie trwałej maksymalnej mocy biernej generatora przez samoczynną zmianę napięcia zadanego.

3) Zapewnienie stabilności statycznej i dynamicznej w szczególnych przypadkach pracy generatora np. przy bliskich zwarcjach w systemie, lub przy obciążeniu pojemnościowym.

4) Prostota obsługi i konserwacji. Łatwość przejścia z regulacji ręcznej na automatyczną i odwrotnie. Pewność działania przy zakłóceniach ruchowych generatora, duża trwałość, prosta budowa. Należy również zwrócić uwagę na koszt układu regulacji napięcia w stosunku do łącznych kosztów turbozespołu.



Rys. 1. Schemat ideowy regulatora napięcia w wersji A. G-generator, W-wzbudnica pomocnicza, A-amplidyna, SA-silnik napędowy amplidynowy, WK-wzmacniacz magnetyczny, MF-mostek pomiarowo-porównawczy, X-transformator komputacji, RR-opornik nastawczy regulacji ręcznej, P₁ P₂ prostowniki R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇ oporniki, TSA-transformator stabilizacyjny wzbudnicy, TSA-transformator stabilizacyjny amplidyny



Rys.2. Schemat ideowy regulatora napięcia w wersji B. G-generator, W-wzbudnica, WF-wzbudnica pomocnicza, A-amplidyndy, SA-silnik napędowy amplidyndy, WM-wzmacniacz magnetyczny, MP-mostek pomiarowo porównawczy, X-transformator kompuandacji człoynu pomiarowego, R-opornik kompuandacji, RA-opornik nastawczy regulacji automatycznej, RR-opjornik nastawczy regulacji ręcznej, P₁,P₂-prostowniki, R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇-oporniki, C₁, C₂-pojemności

2. Opis układu

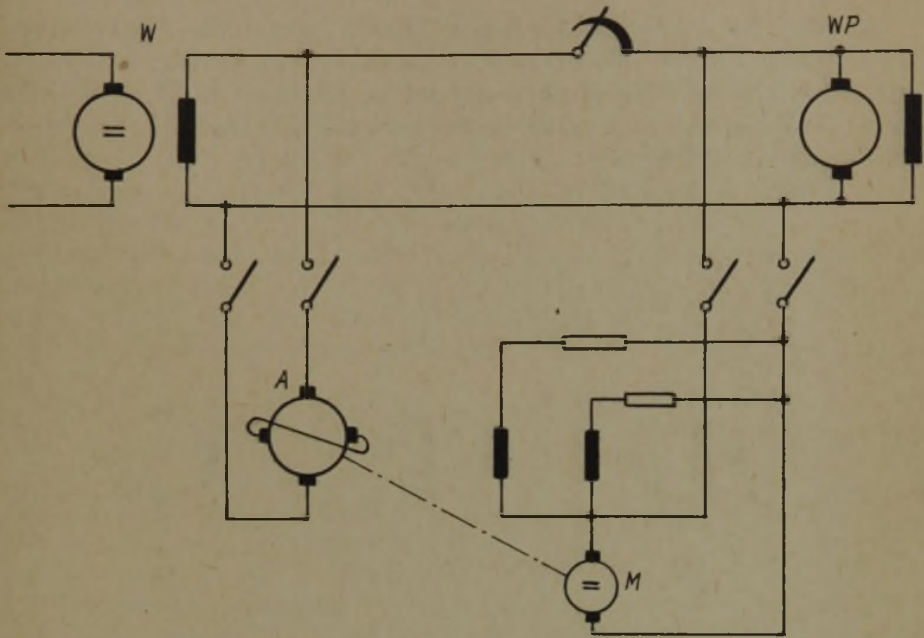
Schemat ideowy regulatora napięcia w dwu wersjach A i B przedstawiono na rys.1 i 2. Podstawowymi elementami układu regulacji napięcia generatora synchronicznego są: wzbudnica główna, amplidyna, wzmacniacz magnetyczny, człon pomiarowy oraz człony stabilizacyjne. Wzbudnica główna wraz z wzbudnicą pomocniczą umieszczona jest na wspólnym wale generatora.

Napęd amplidyny może być rozwiązany w rozmaity sposób:

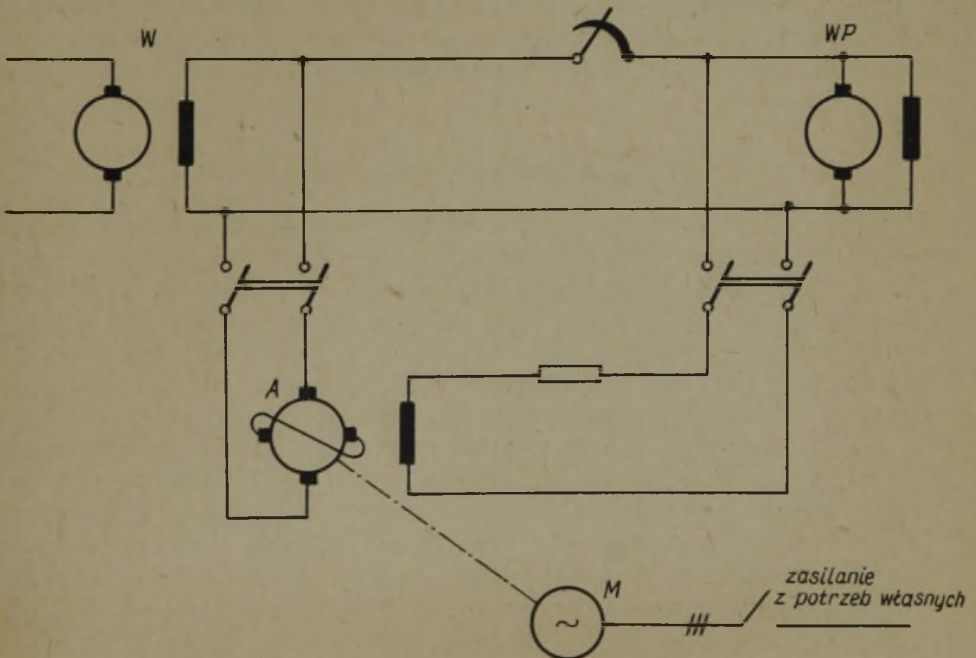
1) Najkorzystniejszym rozwiązaniem, zapewniającym największą pewność ruchową jest osadzenie amplidyny na wale generatora, bądź napędzanie jej z wału generatora za pośrednictwem mechanicznej przekładni zębatej. Rozwiązanie takie wymaga jednak uzgodnień konstrukcyjnych pomiędzy zakładem wytwarzającym generatory synchroniczne, a zakładem produkującym regulatory i może znaleźć zastosowanie w regulatorach przeznaczonych do nowo budowanych generatorów.

2) Korzystnym i zapewniającym całkowitą pewność ruchową jest napędzanie amplidyny silnikiem bocznikowym prądu stałego zasilanym z podwzbudnicy umieszczonej na wspólnym wale generatora (rys.3), bądź z prostownika stabilizowanego pracującego buforowo z baterią akumulatorów. W tym wypadku podwzbudnica zasilająca silnik napędowy amplidyny nie może mieć zgodnego dozwojenia szeregowego z uwagi na możliwość wystąpienia dodatkowego sprzężenia pasożytniczego.

3) Napęd amplidyny może być też zrealizowany przy pomocy silnika asynchronicznego zasilanego z rozdzielni potrzeb własnych (rys.4). Źródło zasilania musi być w tym wypadku wyposażone w SZR umożliwiające przy awaryjnych obniżkach napięcia zasilanie silnika napędowego z rezerwowego źródła zasilania. Innym sposobem zwiększenia pewności działania układu regulacji przy zwarciovych obniżkach napięcia jest wyposażenie zespołu amplidyna - silnik asynchroniczny w dodatkowy moment bezwładności w wyniku czego otrzymuje się zwolnienie wybiegu zespołu przy zaniku, lub obniżce napięcia. Samo powiększenie momentu bezwładności zespołu wirującego jest tylko półśrodkiem, ponieważ zapewnia prawidłowe działanie układu regulacji napięcia tylko przy ograniczonym czasie trwania zaniku napięcia. Dłuższe czasy trwania zaniku napięcia są jednak, statystycznie biorąc, rzadkie z uwagi na funkcjonowanie szybko działających zabezpieczeń systemu.

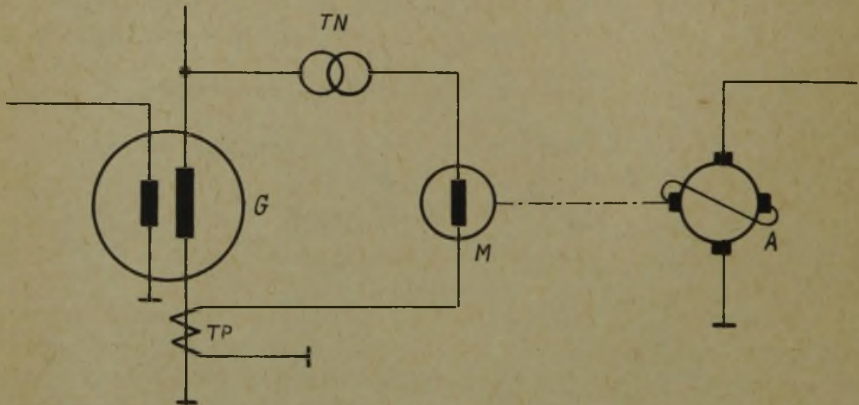


Rys.3. Napęd amplidyny silnikiem prądu stałego



Rys.4. Napęd amplidyny silnikiem asynchronicznym zasilanym z potrzeb własnych generatora

4) Napędowy silnik asynchroniczny może być również zasilany dwustronnie napięciem z transformatorów napięciowych i prądem z transformatorów prądowych (rys.5). Przy zwarciovych obniżkach napięcia silnik zasilany jest wyłącznie z transformatorów prądowych.



Rys.5. Napęd amplidyń silnikiem asynchronicznym o zasilaniu napięciowo-prądowym. G-generator, TP-przekładnik prądowy, TN-przekładnik napięciowy, M-silnik asynchroniczny, A-amplidyńna

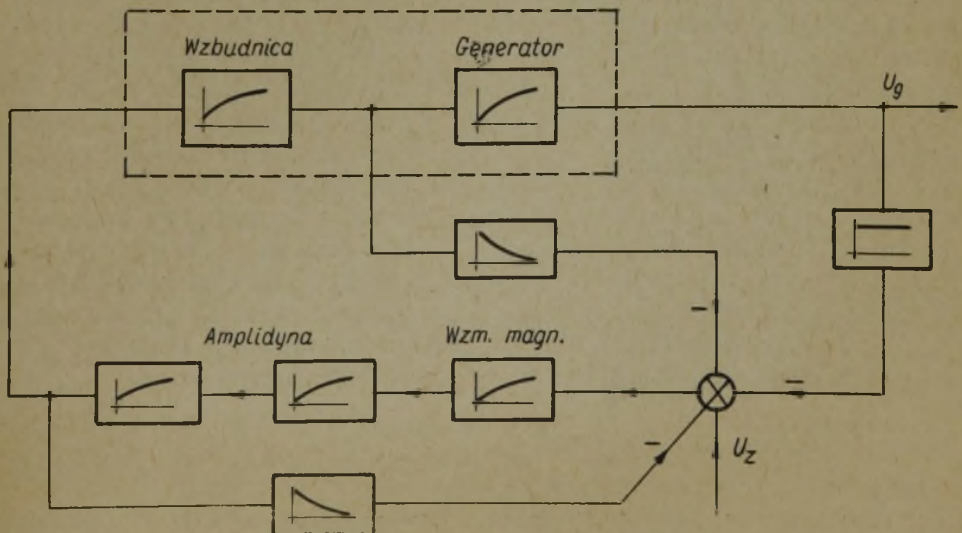
3. Zasada działania regulatora

Regulator jest złożony z kaskady wzmacniaczy proporcjonalnych sterowanych z członu pomiarowo-porównawczego. Dzięki dużemu współczynnikowi wzmocnienia kaskady otrzymuje się regulator o charakterystyce prawie astatycznej. W celu stabilizacji przebiegów regulacyjnych oraz w celu nadania optymalnych własności dynamicznych regulator wyposażono w człony elastycznego sprzężenia zwrotnego. Porównanie napięcia regulowanego z zadaniem odbywa się w układzie mostkowym złożonym z dwu oporów liniowych i dwu nieliniowych (żarówek zasilanych napięciem obniżonym do połowy napięcia znamionowego w celu powiększenia żywotności włókna). Z przekątnej mostka zbierane jest napięcie uchybu, które steruje kaskadą wzmacniaczy. Z uwagi na zastosowanie powyższego członu pomiarowo-porównawczego usunięto całkowicie wpływ zmian częstotliwości na poziom napięcia regulowanego. Napięcie przekątnej mostka pomiarowo-porównawczego zasilą podstawowe uzwo-

jenie sterujące wzmacniacza magnetycznego. Jego prąd wyjściowy zasila podstawowe uzwojenie sterujące amplidyny. Działanie wzmacniacza magnetycznego z punktu widzenia wpływu na wzbudzenie generatora jest przeciwnie magnesujące. Pomocnicze uzwojenie sterujące amplidyny, które jest zasilane prądem stałym pobieranym ze wzbudnicy pomocniczej działa zgodnie magnesująco. Przy przewodzie przepływu pomocniczego uzwojenia sterującego następuje dodatnie wysterowanie napięcia amplidyny, przy którym narasta prąd wzbudzenia generatora, przy przewodzie przepływu podstawowego uzwojenia sterującego napięcie amplidyny zmienia znak i obniża prąd wzbudzenia generatora.

Sprężenia podatne regulatora otrzymano:

Dla wersji A sprzężenie od wielkości wyjściowej wzbudnicy i drugiego stopnia wzmocnienia amplidyny do wejścia wzmacniacza magnetycznego zrealizowane za pomocą transformatorów stabilizacyjnych. Sprężenie podatne wielkości wyjściowej pierwszego stopnia wzmocnienia amplidyny z wejściem wzmacniacza magnetycznego wykonano łącząc uzwojenie sterujące, amplidyny z uzwojeniem sterującym wzmacniacza. Dla wersji B podatne sprzężenia zwrotne od napięcia wzbudzenia oraz napięcia amplidyny do wejścia wzmacniacza magnetycznego zrealizowano za pomocą dwu układów RC. Dzięki powyższym sprzężeniom regulator powyższy jest regulatorem typu PI (proporcjonalno-całkującym). Uproszczony schemat blokowy układu regulacji napięcia podaje rysunek 6.



Rys.6. Uproszczony schemat blokowy układu regulacji napięcia (wersja B)

4. Kompoundacja członu pomiarowego

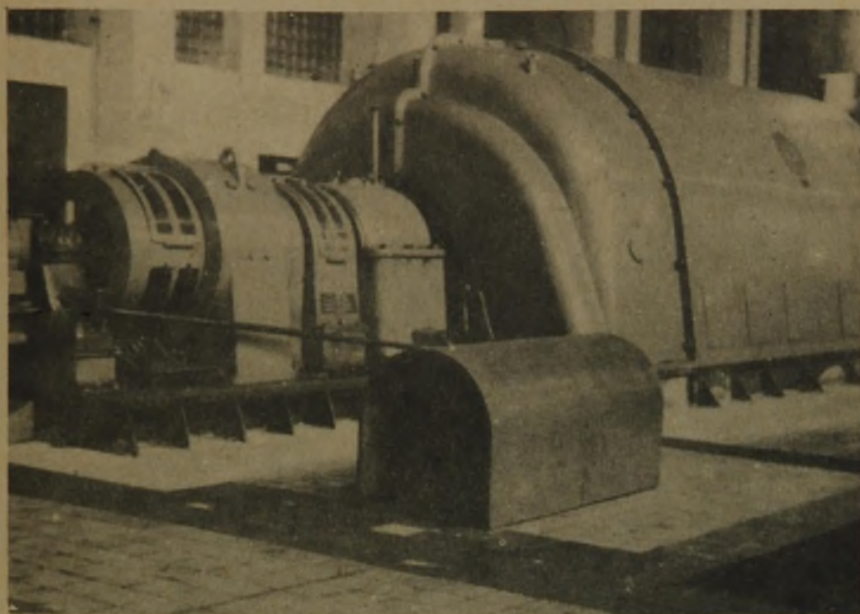
Człon pomiarowo-porównawczy regulatora zasilany jest za pomocą przekładnika napięciowego. Uzależnienie poziomu napięcia generatora od prądu obciążenia w celu uzyskania pożądanego współczynnika statyzmu napięcia generatora dokonano za pomocą compoundacji członu pomiarowo porównawczego prądem generatora pobieranym z przekładnika prądowego. Statyzację regulatora tzn. obniżenie poziomu napięcia w funkcji prądu biernego generatora uzyskuje się za pomocą opornika nastawczego compoundacji. Uzależnienie poziomu napięcia generatora od składowej czynnej prądu obciążenia otrzymuje się za pomocą zmiany zaczeów indukcyjności wzajemnej.

5. Dane regulatora

Samoczynny układ regulacji napięcia generatora synchronicznego rozwiązano w Katedrze Maszyn Elektrycznych w postaci regulatora transduktorowo-amplidynowego. Może on być zastosowany do generatorów synchronicznych o mocach od 2 MW do 100 MW wyposażonych we wzbudnicę główną obcowzbudną oraz podwzbudnicę.

Budowa i rozmieszczenie

Zespół wirujący amplidyna i silnik napędowy może być umieszczony obok generatora lub w oddzielnym pomieszczeniu. Fotografie zespołu ustawionego w maszynowni obok generatora przedstawia rysunek 7. Człon pomiarowo porównawczy wzmacniacz magnetyczny, układ compoundacji członu pomiarowego, oraz człony stabilizacyjne mieszczą się w oddzielnej obudowie umieszczonej na typowej tablicy przekaźnikowej znajdującej się w pomieszczeniach nastawni. Widok tego zestawu (dla wersji B) ze zdjętą obudową przedstawia fotografia na rysunku 8. Ponadto na tej samej tablicy umieszczone są dodatkowe elementy regulatora, oporniki, stycznik i przekaźnik potrzebne do rozruchu zespołu wirującego. Przełącznik regulacji "ręczna=automatyczna" i opornik nastawczy regulacji automatycznej umieszczone są na pulpicie generatora.



Rys.7. Amplidyna i silnik napędowy umieszczone obok generatora

Dane techniczne

Zasilanie członu pomiarowo-porównawczego z przekładników napięciowych napięciem 100 V, pobór mocy do 100 VA, oraz prądem 5A z przekładników prądowych pobór mocy do 15 VA.

Napęd amplidyny rozwiązano w dwu wersjach:

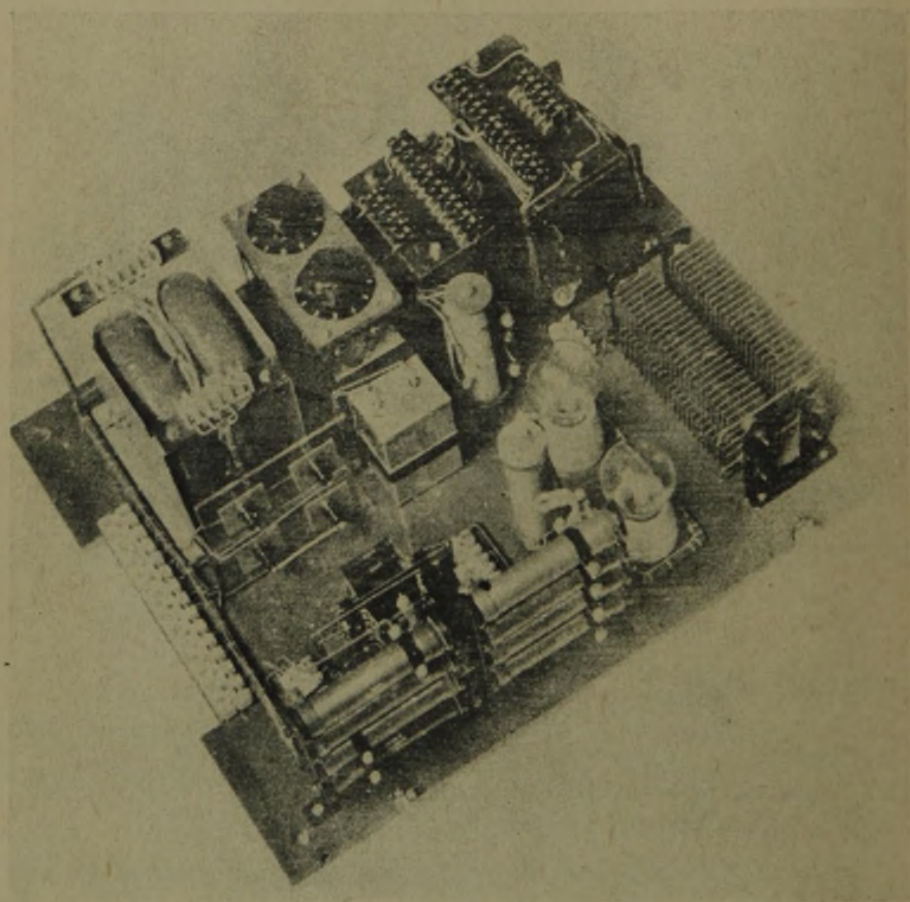
- a) przy pomocy silnika asynchronicznego zasilanego z potrzeb własnych generatora 0,4 kV,
- b) przy pomocy bocznikowego silnika prądu stałego zasilanego z podwzbudnicy napięciem 220 V.

Moc amplidyny i silnika napędowego zależna jest od mocy generatora.

Nieczułość na zmiany częstotliwości

Kompoundacja członu pomiarowego

- od składowej biernej prądu w granicach $\pm 15\%$
od składowej czynnej prądu w granicach $\pm 10\%$



Rys.8. Część transduktorowo-pomiarowa regulatora bez obudowy

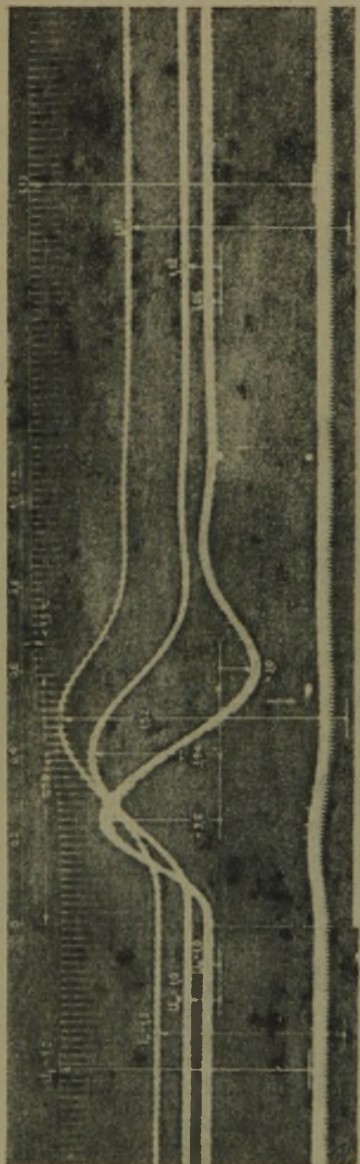


Przebiegi regulacji napięcia generatora. Zaburzenie przy biegu jałowym.

Czas regulacji wynosi 0,8 sek.

Wielkość wartość	U_T		I_w		U_w		U_a	
	kV	j. wzgl.	A	j. wzgl.	V	j. wzgl.	V	j. wzgl.
Pozostatkowa	9,85	1,0	177	1,0	91,5	1,0	31,5	1,0
Ekstremalna	—	—	84,5	0,477	-195	-2,02	-248 +202	-7,87 +6,4
Ustalona	8,95	0,91	150,5	0,885	84,5	0,923	31,7	0,974

Rys.9

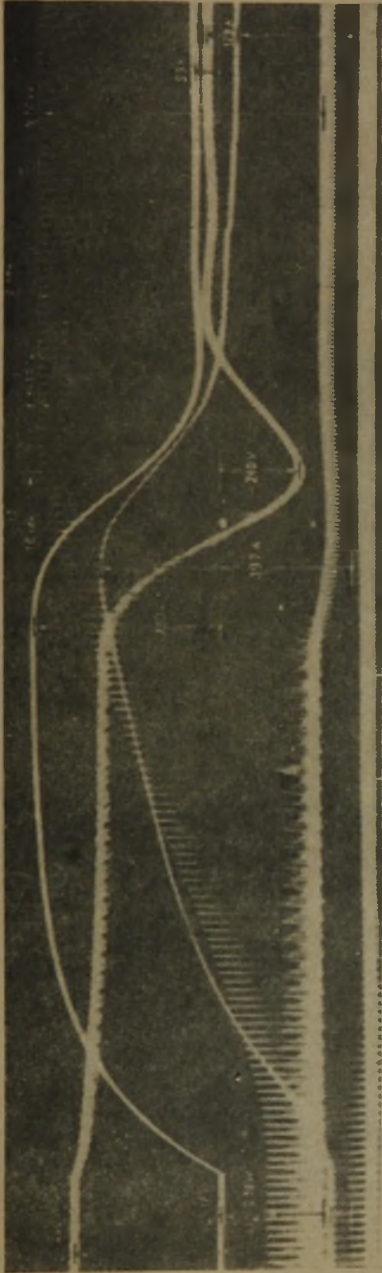


Przebiegi regulacji napięcia generatora. Zaburzenie przy biegu jałowym.

Czas regulacji wynosi 0,59 sek

Wielkość wartość	U_G		I_w		U_w		U_G	
	KV	I_w, A	A	I_w, A	V	I_w, A	V	I_w, A
Przebiegi	882	40	154	10	P1	1.0	29	1.1
Faktory	—	—	234	1.52	318	3.94	+276 -81	+276 -81
Usługi	9.95	1.15	180	1.17	80.6	1.12	50.7	1.76

Rys. 10

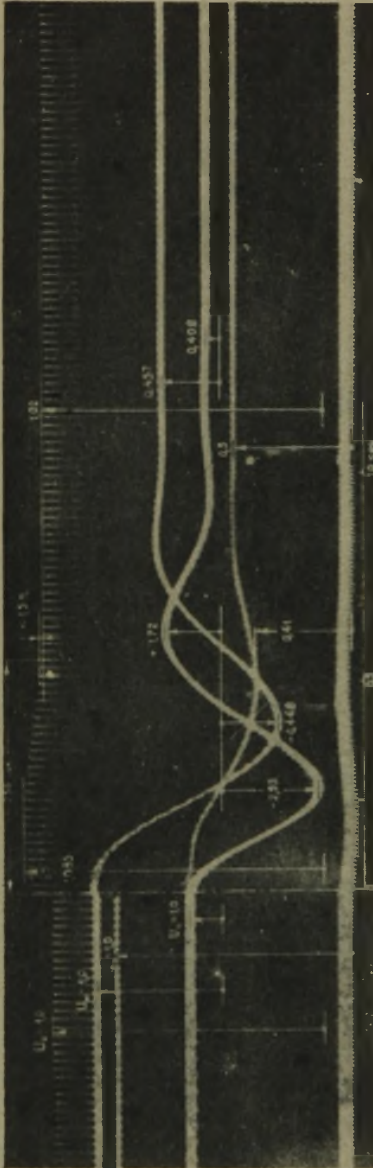


Przebiegi regulacji napięcia generatora przy wzbudzeniu regulatorem.

Czas regulacji wynosi 1,6 sek

Wielkość Wartość	U _g		I _w		U _w		U _a	
	KV	j. w.zyl.	A	j. w.zyl.	V	j. w.zyl.	V	j. w.zyl.
Początkowa	2,08	0,209	33	0,194	17	0,174	4,00	15,33
Ekstremalna	—	—	397	2,22	700	7,52	270	7
Ustalona	9,76	4,0	179	1,0	95	1,0	30	1,0

Rys. 11



Przebiegi regulacji i napięcia po wyłączeniu obciążenia biernego (ind.)

$Q = 40 \text{ MVAR}$. $P = 1.5 \text{ MW}$.

Czas regulacji wynosi 0,56 sek

Wielkość / Wartość	U_g		I_w		U_w		U_g	
	kV	j wzgl	A	j wzgl	V	j wzgl	V	j wzgl
Przebiegowa	10.65	1.0	375	1.0	204	1.0	81	1.0
Ekstremalna	11.67	1.095	154	0.41	-91.5	-0.448	-297	-2.93
Ustalona	10.89	1.02	186	0.5	93.3	0.457	33.1	0.408

Rys. 12

Możliwość bezzakłócenowego przejścia z regulacji ręcznej na automatyczną i odwrotnie.

Konserwacja

Regulator w zasadzie nie wymaga konserwacji, jedynie należy okresowo sprawdzić stan szczotek i komutatora amplityny.

6. Pomiary

Omówiony regulator w wersji B (z członami stabilizacyjnymi wykonanymi w postaci układu RC) został zamontowany na generatorze o danych $P_N = 55 \text{ MW}$, $I_N = 3750 \text{ A}$, $U_N = 10650$, $\cos \varphi_N = 0,8$, $f = 50 \text{ Hz}$, 3000 obr/min , $X_d = 200\%$, $X'_d = -20,3\%$, $X''_d = 16,1\%$

wzbudnica główna o danych 240 kW , 440 V , 617 A , 3000 obr/min

wzbudzenie wzbudnicy głównej 220 V , 7 A

wzbudnica pomocnicza $2,5 \text{ kW}$, 220 V , $11,4 \text{ A}$, 3000 obr/min

amplityna typu PWN a 3b o danych $2,3 \text{ kW}$, 230 V , $10,0 \text{ A}$, 1500 obr/min .

Napęd amplityny silnikiem asynchronicznym zasilanym z potrzeb własnych.

Typowe próby dynamiczne zamkniętego układu regulacji:

- 1) 10% skokowa zmiana nastawienia poziomu napięcia przy biegu jałowym generatora,
- 2) wzbudzenie generatora z regulatorem od napięcia reamentu do napięcia biegu jałowego,
- 3) wyłączenie znamionowej mocy biernej (ind) generatora

przedstawiają oscylogramy na rys.9, 10, 11, 12. Charakterystyczne wielkości przebiegów regulacyjnych, wyznaczone na podstawie powyższych oscylogramów podane są w formie tabelarycznej pod odpowiednimi rysunkami. Czasy regulacji zgodnie z powyższymi oscylogramami, określone przez ostatnie (w tym przypadku pierwsze) przecięcie przebiegu napięcia generatora z konturem tzw. małych odchyłek regulacyjnych ($\pm 1,5\%$) podane są w odpowiednich tabelach.

LITERATURA

- [1] W. L. I n o s o w, L. W. C u k i e r n i k: Kompoundiro-
waniye i elektromagnitnyj korrektor naprjazenija sin-
chronnych gienieratorow. Moskwa 1951.
- [2] W. K o ł e k: Praca generatora w systemie elektroenerge-
tycznym. Warszawa PWT 1955.
- [3] W. P a s z e k: Podstawowe własności nowoczesnych samo-
czynnych regulatorów napięcia generatorów synchronicz-
nych. Zeszyt Naukowy Pol. Śl. Elektryka 5.
- [4] W. P a s z e k: Sposoby powiększania prędkości regulacji
napięcia generatorów synchronicznych. Archiwum Automaty-
ki i Telemekhaniki 2/60.
- [5] W. P a s z e k: Transformator różniczkujący i stabilizacja
cyjny w układzie samoczynnej regulacji napięcia genera-
tora synchronicznego. Archiwum Automatyki i Telemekhaniki
4/60.
- [6] J. I. S o ł o w i e w: Awtomatizacija energeticeskich si-
stem. Moskwa 1956.
- [7] G. F. S t o r m: Magnitnyje ustiteli. Moskwa 1957. Tłu-
macz. z angielskiego.
- [8] S. W ę g r z y n (red): Podstawy automatyki. PWN 1960.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ НАПРЯЖЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Приведен принцип действия, конструкция и технические данные трансдукторно-амплидинового автоматического регулятора напряжения синхронного генератора, выполненного в Кафедре Электромашин Силезского Политехнического Института, а также разные способы решения привода амплидина. Указаны характерные размеры регулировочных процессов, определенных на основании представленных осциллограмм.

LE DISPOSITIF DE LA REGULATION AUTOMATIQUE DE LA TENSION DES TURBO-GÉNÉRATEURS

On a discuté le principe du fonctionnement la construction et les données techniques d'un régulateur automatique type "transducteur-amplidyne" de la tension, pour les générateurs synchrones, exécutés par la Chaire des Machines Electriques de l'École Polytechnique de Silésie.

On a discuté de différents moyens de dénouer le problème de commande de l'amplidyne. On a donné les dimensions caractéristiques des processus de régulation indiquées en se basant sur les oscillogrammes.