

4. Prądnice samochodowe prądu przemiennego (alternatory)

4.1. Porównanie alternatora z prądnicami samochodowymi prądu stałego

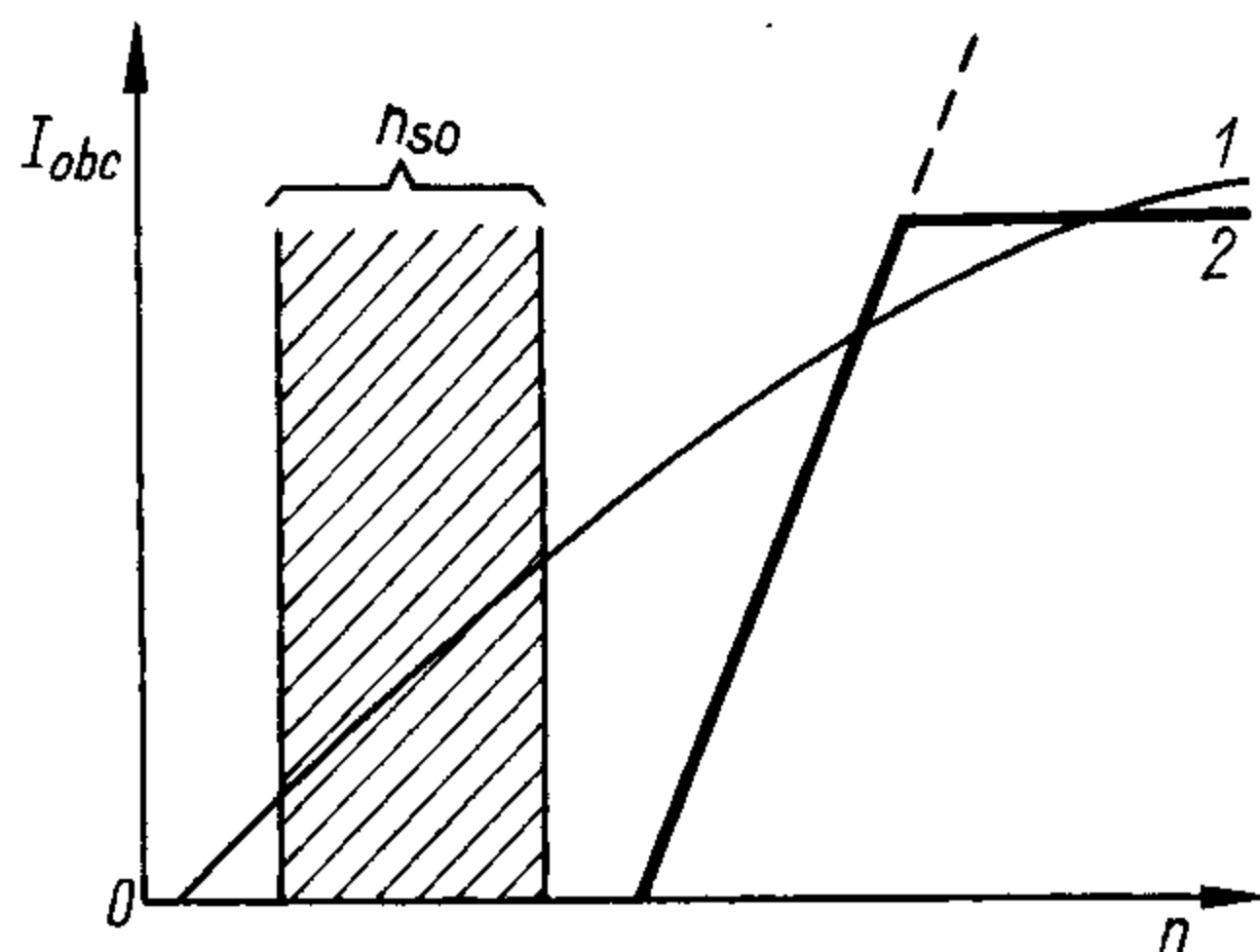
Wprowadzenie alternatora jako źródła energii elektrycznej pojazdów samochodowych było spowodowane w głównej mierze faktem, że konwencjonalne rozwiązania prądnic prądu stałego w wielu przypadkach nie odpowiadają potrzebom eksploatacji samochodów. Dotyczy to zarówno parametrów mocy i prędkości obrotowej, jak również wskaźników zużycia masy miedzi. Przewaga alternatora nad prądnicą prądu stałego staje się bardziej wyraźna wobec tendencji rozwojowych związanych z warunkami eksploatacji, wzrostem zapotrzebowania na moc elektryczną i zmniejszeniem wymiarów wyposażenia elektrycznego. Wzrost liczby samochodów spowodował zwiększenie intensywności ruchu na drogach i ulicach miast, co z kolei pociągnęło za sobą zmianę warunków pracy silników samochodowych. Czas pracy silnika w stanie jałowym, przy ruchu samochodu osobowego w mieście dochodzi do 40% całego czasu pracy, a dla autobusów miejskich do 60% całego czasu pracy.

Prądnica prądu stałego nie może zapewnić oddawania dostatecznej ilości energii w stanie jałowym silnika, co jest spowodowane tym, że współczesne silniki samochodowe mają duży zakres zmian prędkości obrotowej. Prądnica bowiem, która ma oddawać energię w stanie jałowym silnika, nie może pracować niezawodnie przy maksymalnej prędkości silnika, gdyż pojawiają się znaczne trudności związane m.in. z komutacją. Z czterech możliwych do zastosowania typów prądnic prądu stałego: obcowzbudnej, samowzbudnej bocznikowej, szerekowej i szerego-bocznikowej najlepiej do współpracy z akumulatorem nadawała się **prądnica samowzbudna bocznikowa**, którą stosowano w pojazdach samochodowych. Dopuszczalna ze względów konstrukcyjnych prędkość obrotowa takiej prądnicy prądu stałego wynosi 7000 do 8000 obr/min, a prądnicy o budowie specjalnej do 10 000 obr/min.

Na rysunku 4.1 przedstawiono dla porównania charakterystyki obciążenia alternatora i prądnicy prądu stałego (z ogranicznikiem prądu) z zaznaczeniem zakresu prędkości obrotowych silnika pracującego w stanie jałowym. Z wykresu wynika, że *przy pracy silnika w stanie jałowym alternator może zasilać odbiorniki elektryczne, w przypadku natomiast zainstalowania prądnicy prądu stałego odbiorniki są zasilane z akumulatora.*

Rys. 4.1. Charakterystyki obciążenia (prądowo-prędko-
ściowe):

1 – alternatora, 2 – prądnicy prądu stałego, (n_{so} – obszar
zmian prędkości obrotowej silnika w stanie jałowym)



Moc na jednostkę masy, otrzymana z prądnicy, jest niewielka i wynosi od 40 do 70 W/kg. W przypadku stosowania alternatorów – przy takiej samej objętości i masie otrzymuje się maszynę o 2 do 3 razy większej mocy. Moc na jednostkę masy, uzyskana z alternatora wynosi od 100 do 200 W/kg. Jeszcze korzystniejsze wskaźniki objętości i mocy na jednostkę masy otrzymuje się w przypadku **alternatorów kompaktowych**.

Brak komutatora i zjawiska komutacji umożliwiają zwiększenie maksymalnej prędkości obrotowej do 15 000 obr/min, a nawet 20 000 obr/min. Pozwala to, po przyjęciu odpowiedniego przełożenia prędkości obrotowej między silnikiem a alternatorem, uzyskać ok. 50% mocy znamionowej przy pracy silnika w stanie jałowym.

Ciągłe zmiany warunków pracy prądnic samochodowych podczas ruchu pojazdu samochodowego powodują, że napięcie prądnicy prądu stałego bez zastosowania elementów regulacyjnych zmieniałoby się w zbyt szerokich granicach. Napięcie tej prądnicy powinno być tak regulowane, aby było niezależne od trzech najważniejszych czynników zmiennych: prędkości obrotowej twornika, prądu obciążenia i temperatury. Dlatego też zastosowany w prądnicy prądu stałego **regulator zespolony** powinien spełniać następujące funkcje: utrzymywać napięcie na zaciskach wyjściowych prądnicy na stałym poziomie (**regulator napięcia**); włączać prądnicę do równoległej współpracy z akumulatorem w chwili, gdy napięcie na jej zaciskach wzrośnie do odpowiedniej wartości (**wyłącznik prądu zwrotnego**); ograniczać prąd pobierany z prądnicy, zabezpieczając ją przed przeciążeniem (**ogranicznik prądu**).

Natomiast zadania **regulatorów alternatorów** sprowadzają się do regulacji napięcia instalacji elektrycznej pojazdu. Diody układu prostowniczego spełniają jednocześnie rolę wyłącznika prądu zwrotnego. Nie stosuje się również ogranicznika prądu, gdyż wartość prądu obciążenia ustala się samoczynnie po osiągnięciu przez alternator odpowiedniej prędkości obrotowej.

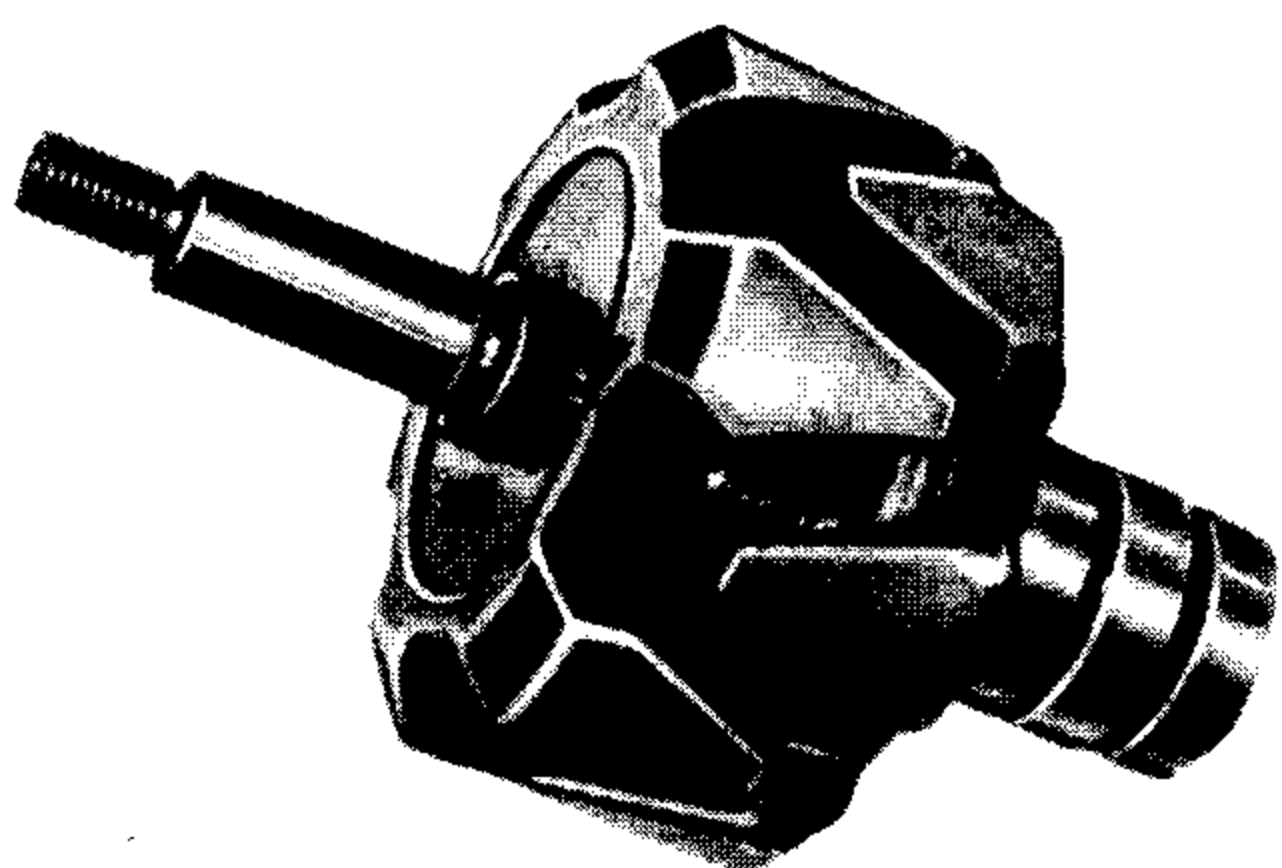
Podsumowując, zalety alternatora w porównaniu z prądnicą prądu stałego o zbliżonych parametrach są następujące:

- alternator oddaje do 50% mocy już przy pracy silnika w stanie jałowym;
- większe moce niż w prądnicach prądu stałego – od 500 W do 1 kW (samochody osobowe) oraz od 1,5 do 5 kW (autobusy);

- większa maksymalna prędkość obrotowa – do 15 000 obr/min, a nawet do 20 000 obr/min;
- samoczynne ograniczenie prądu obciążenia;
- 2,5 do 3 razy mniejsze zużycie miedzi;
- biegunowość napięcia nie zależy od kierunku wirowania;
- korzystny wskaźnik wykorzystania mocy na jednostkę masy, 2 do 3 razy większy niż w prądnicach prądu stałego;
- uproszczona konstrukcja regulatora (brak wyłącznika prądu zwrotnego i ogranicznika prądu) – możliwość wbudowania regulatora do wnętrza prądnicy;
- możliwość stosowania akumulatorów o mniejszej pojemności.

4.2. Budowa i zasada działania alternatora

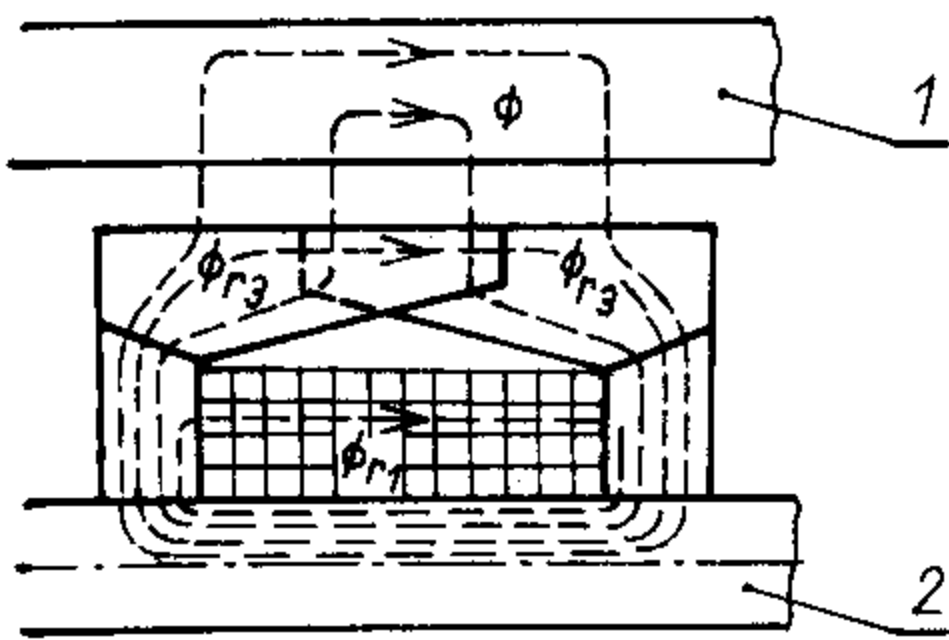
Samochodowa prądnica prądu przemiennego (alternator) jest trójfazową prądnicą synchroniczną, w której wirnik jest magneśnicą, a stojan twornikiem. W alternatorach stosuje się wzbudzenie elektromagnetyczne, przy czym uzwojenie magnesujące jest nawinięte na wirniku. Wirnik ma od kilku do kilkunastu biegunów, wykonanych w układzie pazurowym (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Wirnik alternatora

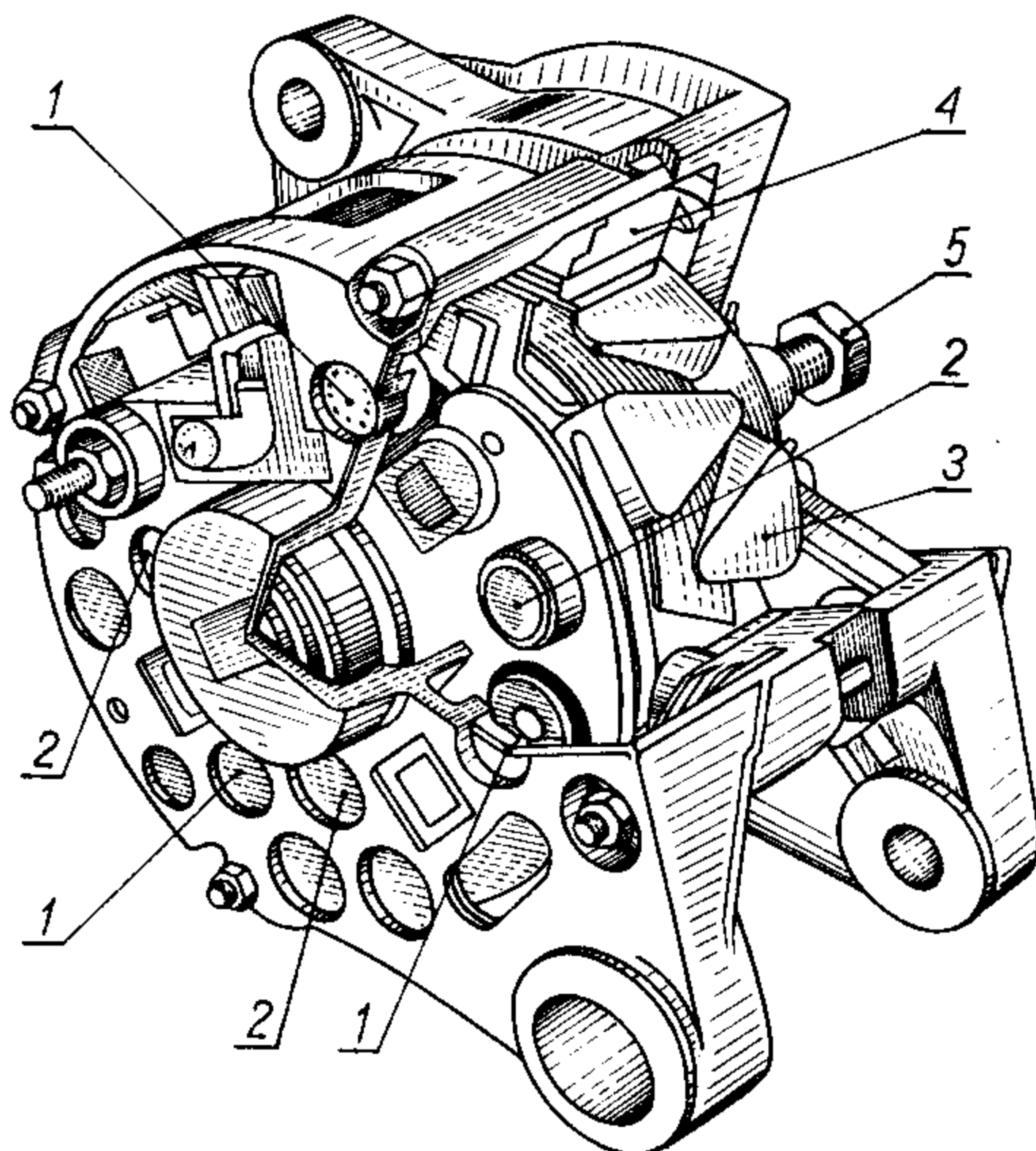
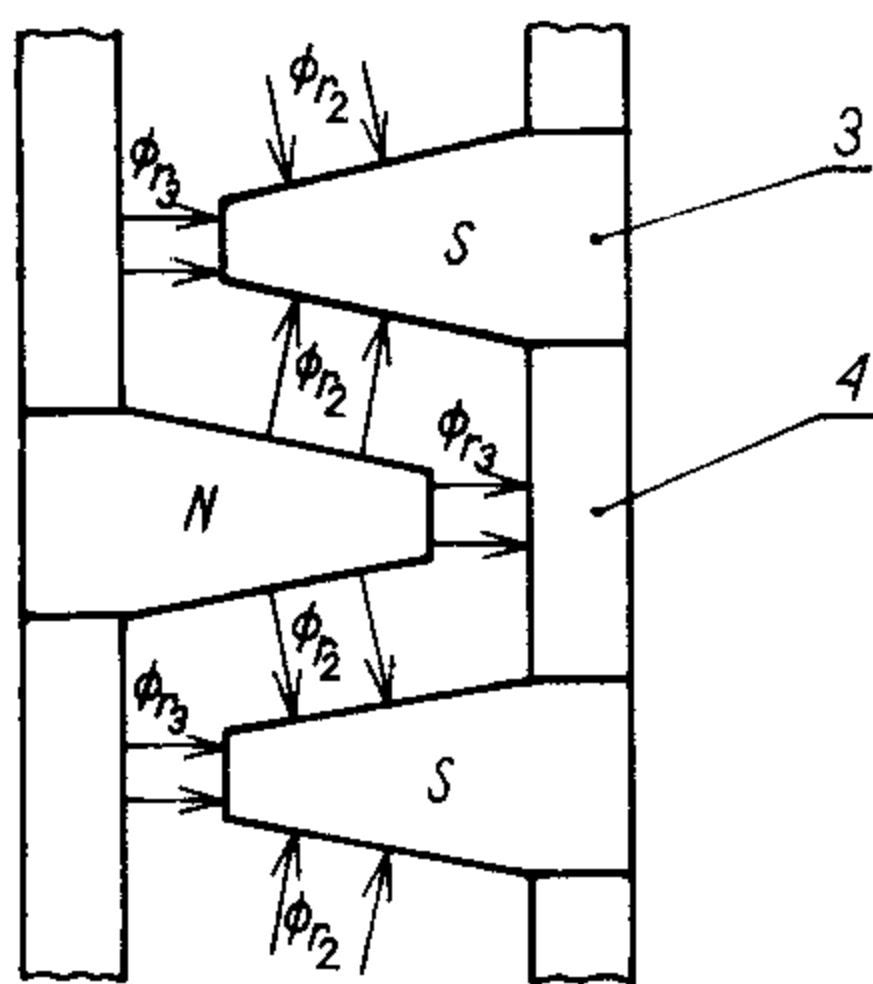
Pazury na obwodzie wirnika mają biegunowość przemienną. Uzwojenie wzbudzenia jest pojedynczą cewką o kształcie cylindrycznym, zajmującą położenie koncentryczne względem wału i umieszczoną pomiędzy systemami biegunowymi. Uzwojenie wirnika jest zasilane prądem stałym poprzez dwa pierścienie, po których ślizgają się szczotki. Strumień magnetyczny wytworzony przez cewkę, dzieli się na strumień główny i strumienie rozproszenia. Obwody magnetyczne strumienia głównego i strumieni rozproszenia przedstawiono na rys. 4.3. Bieguny pazurowe zmieniają promieniowy kierunek głównego strumienia magnetycznego na osiowy, to jest wzdłuż osi wirnika, dlatego maszyny synchroniczne o tych biegunach są nazywane osiowymi w odróżnieniu od maszyn promieniowych, w których strumień nie ma składowych skierowanych wzdłuż osi wirnika.

Twornik alternatora w odróżnieniu od twornika prądnicy prądu stałego nie wiruje, lecz jest częścią korpusu maszyny (rys. 4.4). Składa się on z pakietu blach prądnicowych.



Rys. 4.3. Obwód magnetyczny strumienia głównego Φ i strumieni rozproszenia $\Phi_{r1} \div \Phi_{r3}$:

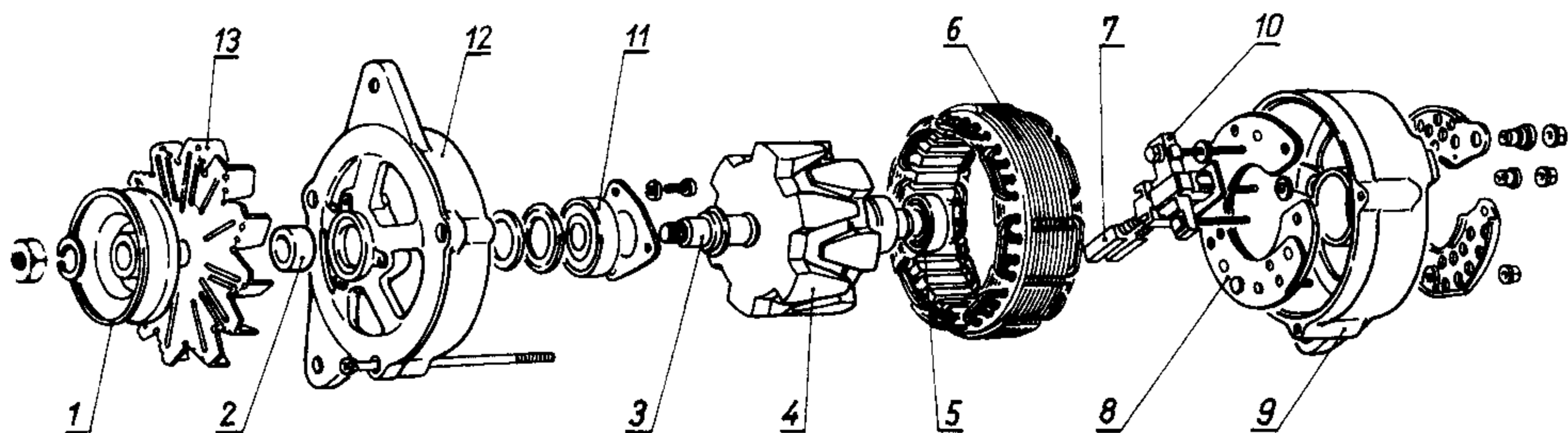
1 – stojan, 2 – rdzeń wirnika, 3 – biegun pazurowy, 4 – część wirnika



Rys. 4.4. Alternator:

1 – diody ujemne, 2 – diody dodatnie, 3 – wirnik pazurowy, 4 – stojan (twornik), 5 – mocowanie koła pasowego

wych wzajemnie izolowanych, osadzonych w aluminiowym korpusie, do którego są przymocowane obie tarcze łożyskowe. Prąd stojana jest prostowany przez diody krzemowe, umieszczone w tarczy łożyskowej prądnicy. Wirnik ma ponadto łopatki spełniające rolę wentylatora, który jest niezbędny do chłodzenia alternatora oraz prostowników krzemowych, w których wydziela się również znaczna ilość ciepła. Trójfazowe uzwojenie stojana jest zazwyczaj połączone w gwiazdę. Na rysunku 4.5 przedstawiono schemat alternatora z rozłożonymi elementami.



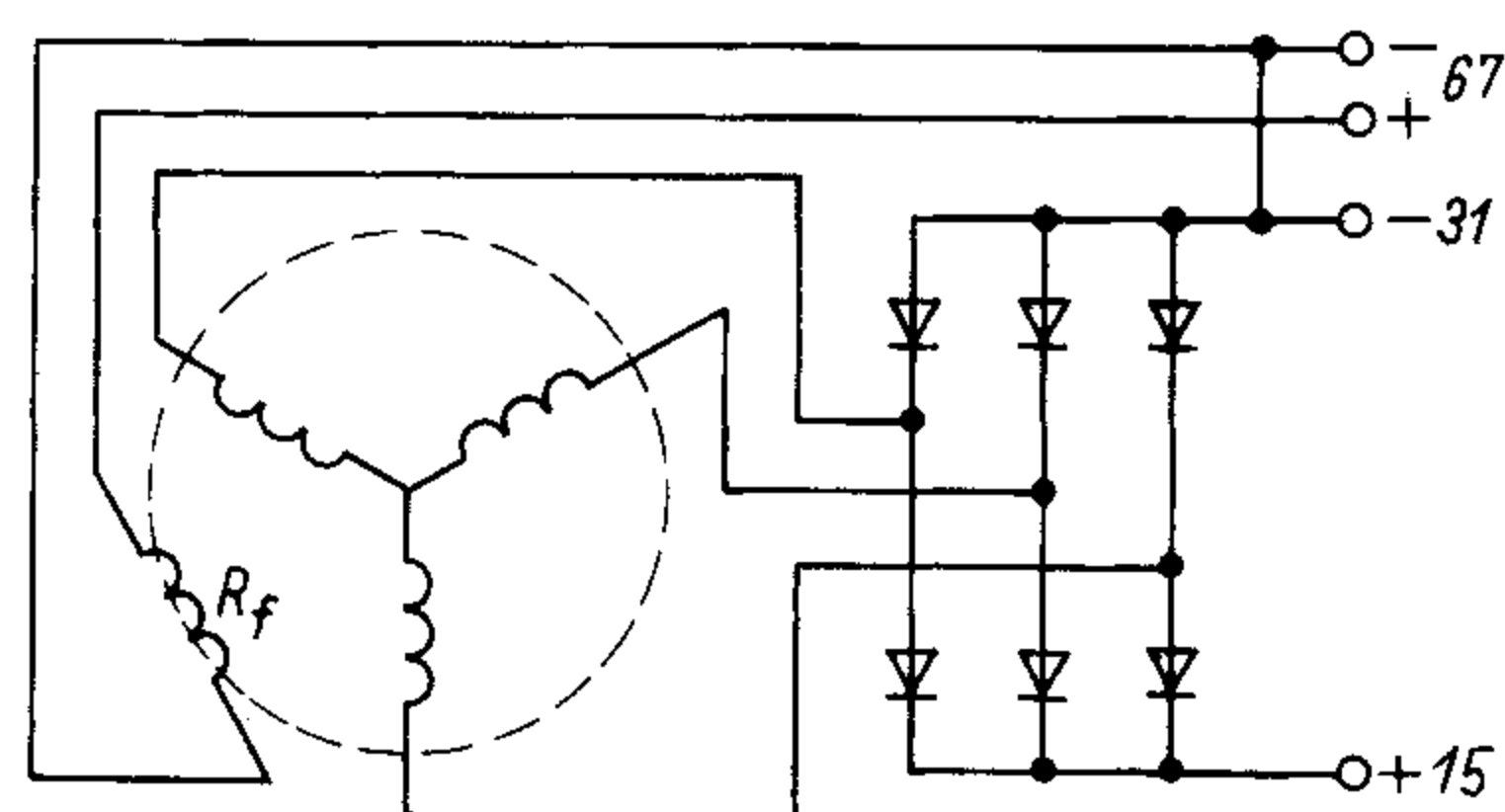
Rys. 4.5. Alternator z rozłożonymi elementami – wg [4]:

1 – koło pasowe, 2 i 3 – tuleje dystansowe, 4 – wirnik, 5 – łożysko, 6 – stojan, 7 – szczotka, 8 – płytka prostownika, 9 – obudowa tylna, 10 – szczotkotrzymacz, 11 – łożysko, 12 – obudowa przednia, 13 – wentylator

Wprowadzenie prądnic prądu przemiennego do pojazdów samochodowych nie zmieniło podstawowych funkcji urządzenia, tj. dostarczenia prądu stałego oraz napięcia. Zasada działania i konstrukcja alternatorów eliminują konieczność stosowania układu komutator-szczotki (czyli prostownika mechanicznego),

zastępując go elementem elektronicznym – półprzewodnikową diodą prostowniczą. Stosowane w alternatorach samochodowych diody półprzewodnikowe są wyłącznie elementami krzemowymi.

Zespół półprzewodnikowych diod prostowniczych w postaci **trójfazowego mostkowego układu prostowniczego**, prostuje trójfazowy prąd przemienny wytwarzany w uzwojeniu stojana. Diodowy układ mostkowy najczęściej jest wbudowany do wnętrza alternatora. Schemat alternatora wraz z układem prostowniczym przedstawiono na rys. 4.6. Do każdej fazy uzwojenia stojana są przyłączone w kierunkach przeciwnych (przewodzenia i zaporowym) dwa elementy prostownicze. Sześć elementów prostowniczych, stanowiących trójfazowy układ mostkowy, jest podzielonych na dwie grupy. Zgodnie ze schematem z rys. 4.6, trzy diody są połączone z biegunem dodatnim, a trzy z biegunem ujemnym, stąd nazwa: diody dodatnie i ujemne. Diody dodatnie i ujemne są umieszczone w takich samych obudowach, różnią się natomiast kierunkiem przewodzenia prądu.

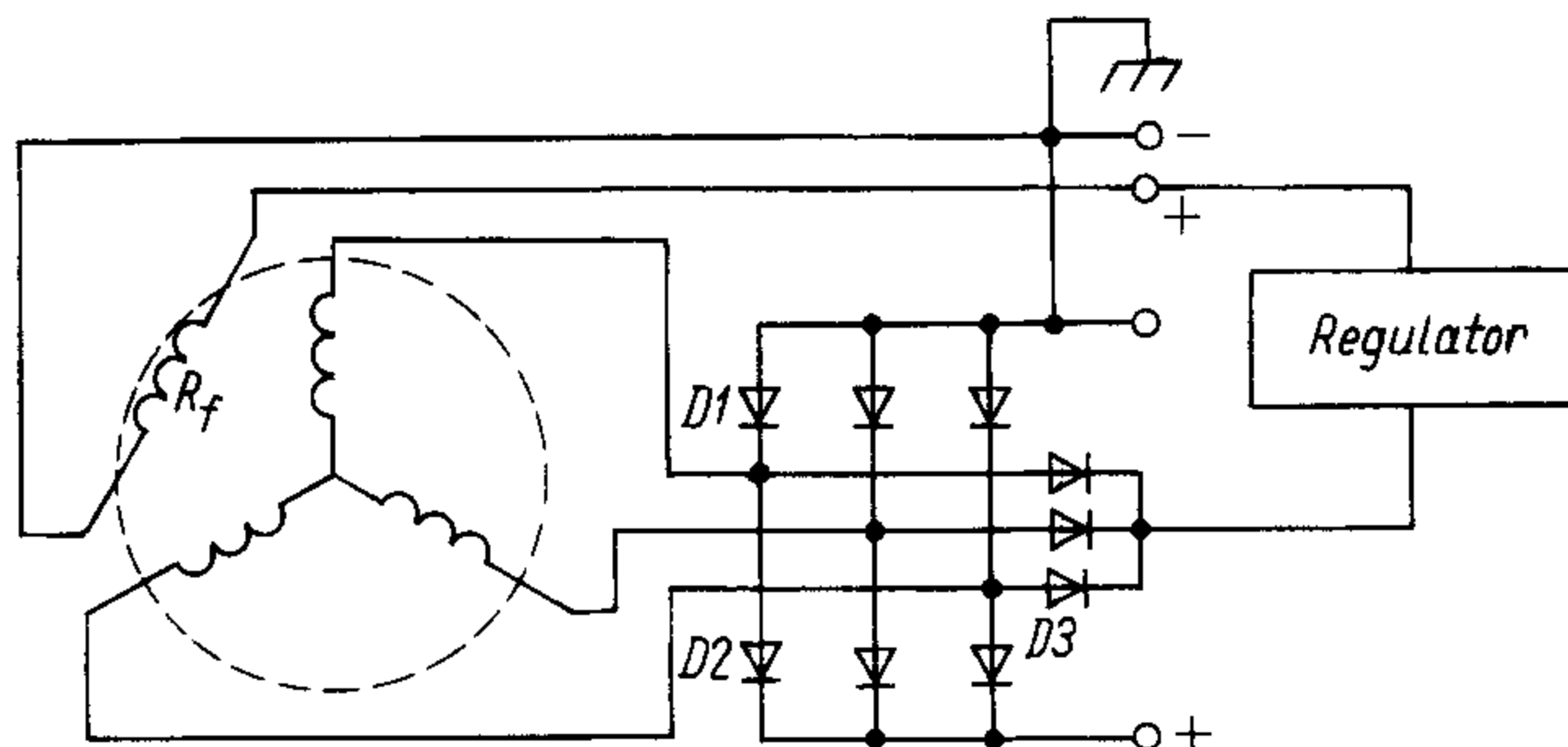


Rys. 4.6. Schemat tzw. obcowzbudnego alternatora z układem prostowniczym

W alternatorach samochodów osobowych produkowanych w Polsce stosuje się diody prostownicze ładowania o różnych wartościach prądów znamionowych: np. 25 A, 20 A i 15 A. Natomiast diody wzbudzenia mają wartość prądu znamionowego równą 1A lub 2A.

Między połączone anody jednej grupy (diody ujemne) i połączone katody drugiej grupy (diody dodatnie) jest włączone obciążenie. Diody stosowane w alternatorach samochodowych charakteryzują się niewielkim spadkiem napięcia w kierunku przewodzenia (od 0,5 do 1,2 V). Od rodzaju układu wzbudzenia alternatora zależy użycie różnej liczby diod prostowniczych. W alternatorze tzw. obcowzbudnym (rys. 4.6) stosuje się układ z sześcioma diodami prostowniczymi, natomiast w alternatorze tzw. samowzbudnym (rys. 4.7) – układ z dziewięcioma diodami. W układzie alternatora samowzbudnego trzy dodatkowe diody, zwane diodami wzbudzenia, wspólnie z trzema diodami ujemnymi tworzą **trójfazowy mostkowy układ prostowniczy**, zasilający uzwojenie wzbudzenia. Prąd w obwodzie wzbudzenia może popłynąć wówczas, gdy napięcie indukowane w uzwojeniu stojana będzie miało większą wartość od spadku napięcia (przy prądzie znamionowym przewodzenia) dwóch szeregowo połączonych diod – ujemnej 1 i wzbudzenia 3 (rys. 4.7). Z uwagi na fakt, że wartość prądu znamionowego przewodzenia diody wzbudzenia jest znacznie mniejsza od połączonej z nią szeregowo diody ujemnej, odpowiadający temu prądowi spadek napięcia jest również mniejszy od spadku napięcia na diodzie ujemnej. Dlatego też w sumie, na dio-

rys. 4.7. Schemat tzw. samowzbudnego alternatora samochodowego:
 $D1$ – diody ujemne, $D2$ – diody dodatnie, $D3$ – diody wzbudzenia



W układzie tzw. samowzbudnego obserwuje się mniejszy spadek napięcia przy prądzie znamionowym przewodzenia, niż na diodach układu tzw. obcowzbudnego. Przepływ prądu przez uzwojenie wzbudzenia alternatora tzw. samowzbudnego następuje przy stosunkowo niskich prędkościach obrotowych alternatora.

Alternator, którego uzwojenia twornika są połączone w gwiazdę, ma zazwyczaj wyprowadzony na zewnątrz zacisk ze środka uzwojenia.

Alternatory charakteryzują się specyficznym rozwiązaniem konstrukcyjnym wirnika, w którym powstaje pole magnetyczne. Wirujące pole magnetyczne indukuje w nieruchomym tworniku siłę elektromotoryczną, zmieniającą się okresowo. W celu doprowadzenia prądu do wirującego uzwojenia wirnika stosuje się styki ślizgowe typu szczotka-pierścień. Iskrzenie na nich jest minimalne, nie występuje tu bowiem zjawisko komutacji. Prąd wzbudzenia jest niewielki, ok. 10% znamionowego prądu obciążenia. Dzięki temu prędkość obrotowa alternatora może być znacznie większa niż prędkość obrotowa prądnicy prądu stałego. Jest ona ograniczona jedynie wytrzymałością łożysk i pasków napędowych.

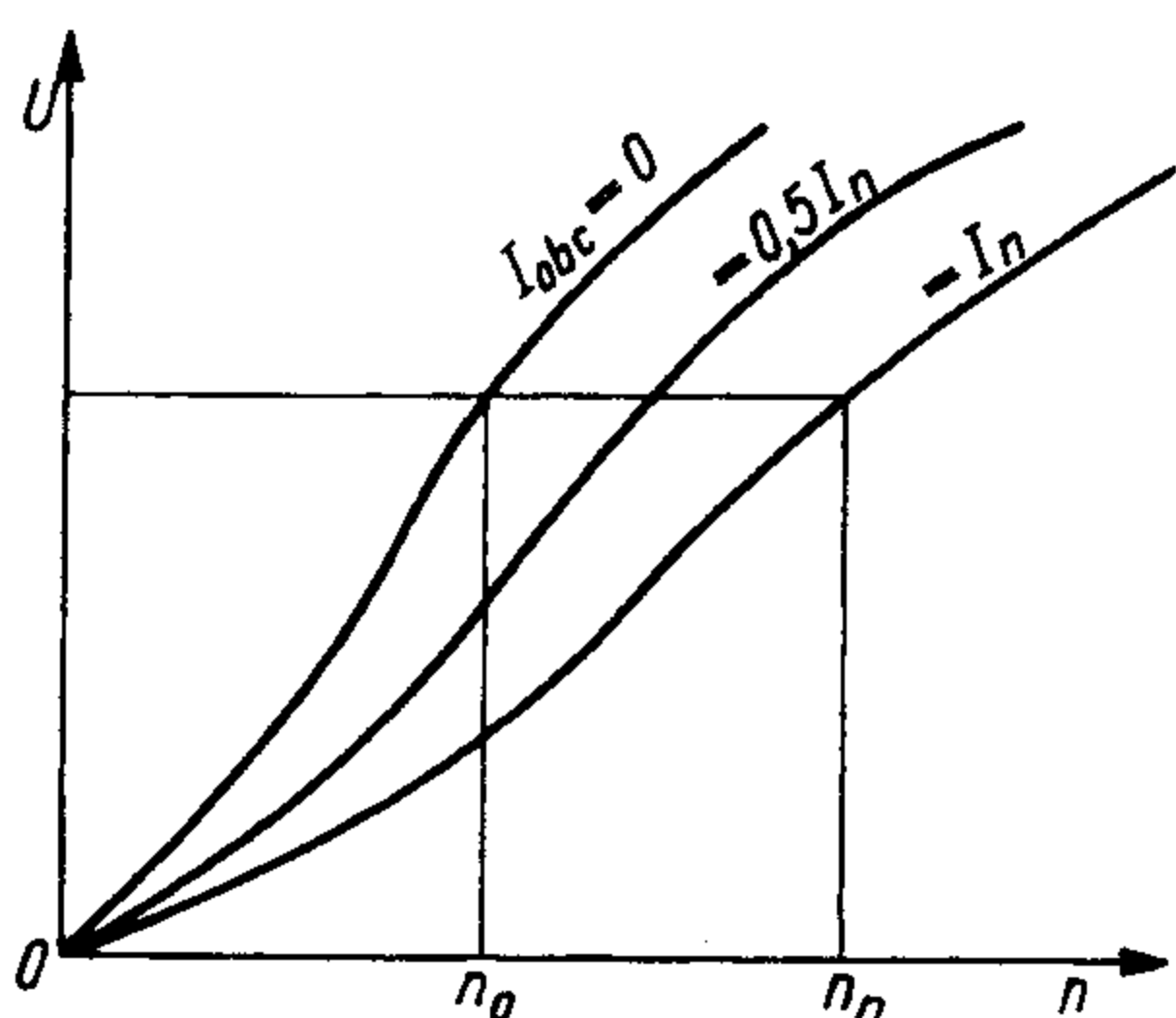
4.3. Charakterystyki eksploatacyjne alternatorów samochodowych

Do podstawowych charakterystyk eksploatacyjnych alternatorów należą:

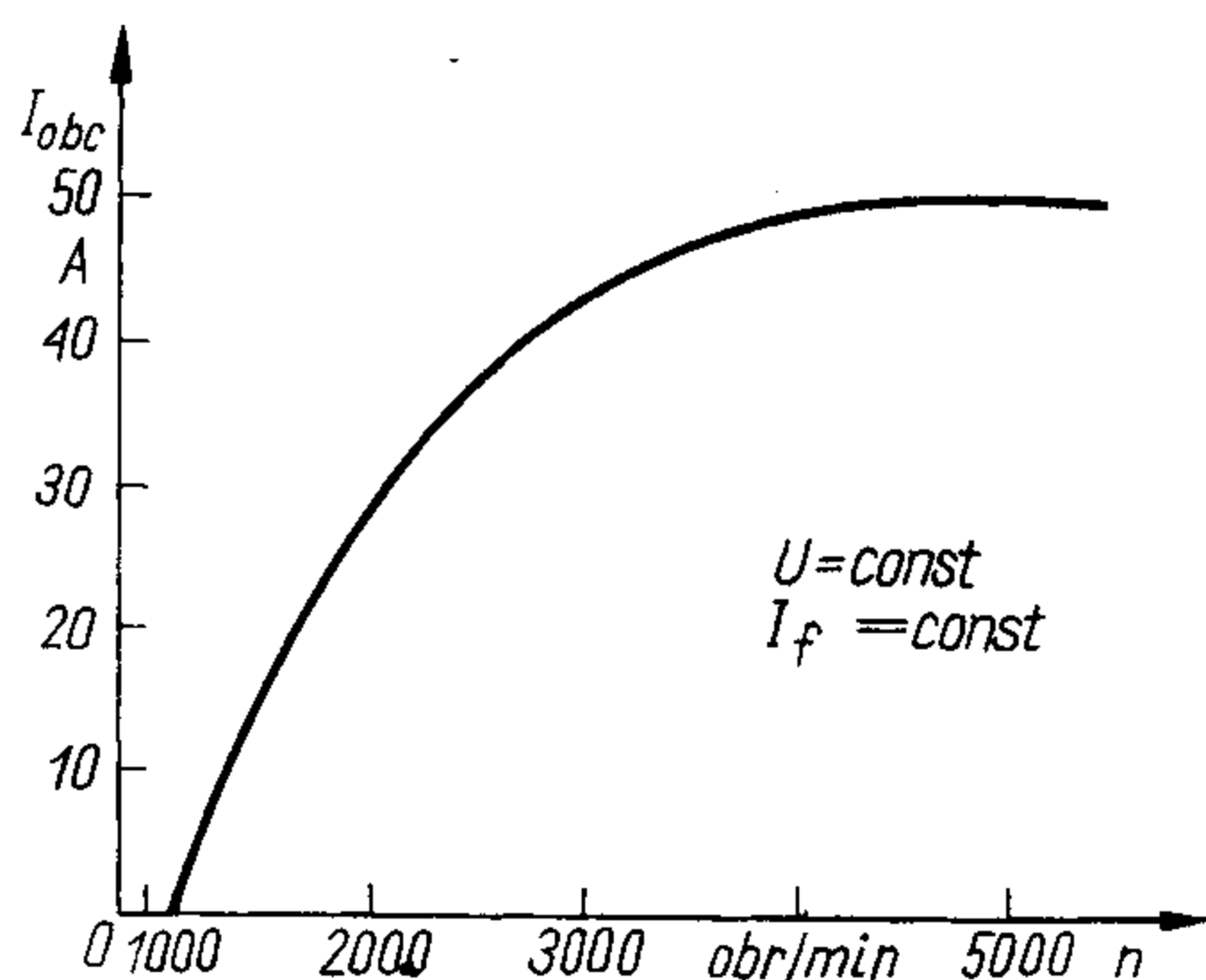
- **Charakterystyka elektromechaniczna** (zwana również **charakterystyką samowzbudzenia**) przedstawiająca zależność $U = f(n)$, przy $I_{obc} = \text{const}$ i $R_f = \text{const}$ (R_f – rezystancja wzbudzenia).
- **Charakterystyka obciążenia** (prądowo-prędkościowa) przedstawiająca zależność $I_{obc} = f(n)$ dla $U = \text{const}$ oraz $I_f = \text{const}$.
- **Charakterystyka regulacyjna** przedstawiająca zależność $I_f = f(n)$ dla $U = U_n = \text{const}$ oraz $I_{obc} = \text{const}$.

Charakterystykę elektromechaniczną alternatorów przedstawiono na rys. 4.8.

Przy analizowaniu charakterystyki obciążenia alternatora (rys. 4.9) przyjmuje się za punkt wyjścia zależność opisującą siłę elektromotoryczną, która jest równa napięciu maszyny w stanie jałowym



Rys. 4.8. Charakterystyki elektromechaniczne alternatora przy różnych wartościach obciążeń



Rys. 4.9. Charakterystyka obciążenia (prądo-prędkościowa) alternatora

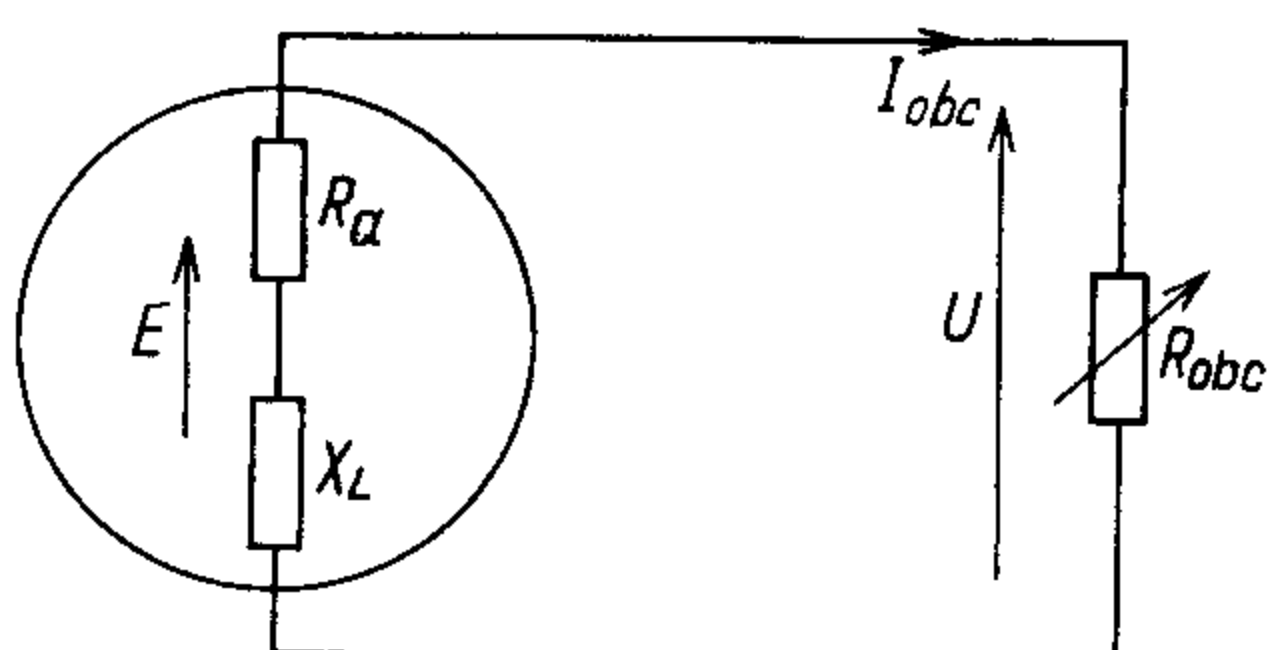
$$E = U_0 = c\Phi n \quad (4.1)$$

przy czym: U_0 – napięcie fazowe alternatora przy pracy w stanie jałowym.

Na rysunku 4.10 przedstawiono schemat zastępczy alternatora obciążonego rezystorem. W przeprowadzonych poniżej rozważaniach pominięto (dla uproszczenia) wpływ reakcji twornika (od strumienia własnego uzwojeń) na strumień główny. Zgodnie ze schematem na rys. 4.10 prąd obciążenia ma wartość

$$I_{obc} = \frac{U_0}{\sqrt{(R_a + R_{obc})^2 + X_L^2}} \quad (4.2)$$

przy czym: R_a – rezystancja uzwojenia stojana (twornika) alternatora, Ω ; R_{obc} – rezystancja odbiornika, Ω ; X_L – reaktancja indukcyjna uzwojenia stojana alternatora, Ω .



Rys. 4.10. Schemat zastępczy alternatora

Reaktancja indukcyjna uzwojenia stojana zależy od częstotliwości

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \frac{pn}{60} L = c_1 n \quad (4.3)$$

gdzie: f – częstotliwość, Hz; p – liczba par biegunów maszyny; L – indukcyjność uzwojeń o reaktancji indukcyjnej X_L , H.

Zatem

$$I_{\text{obc}} = \frac{c \Phi n}{\sqrt{(R_a + R_{\text{obc}})^2 + (c_1 n)^2}} \quad (4.4)$$

Ponieważ przy małej prędkości obrotowej wirnika alternatora

$$c_1 n \ll R_a + R_{\text{obc}} \quad (4.5)$$

przeto wyrażenie (4.4) można uprościć

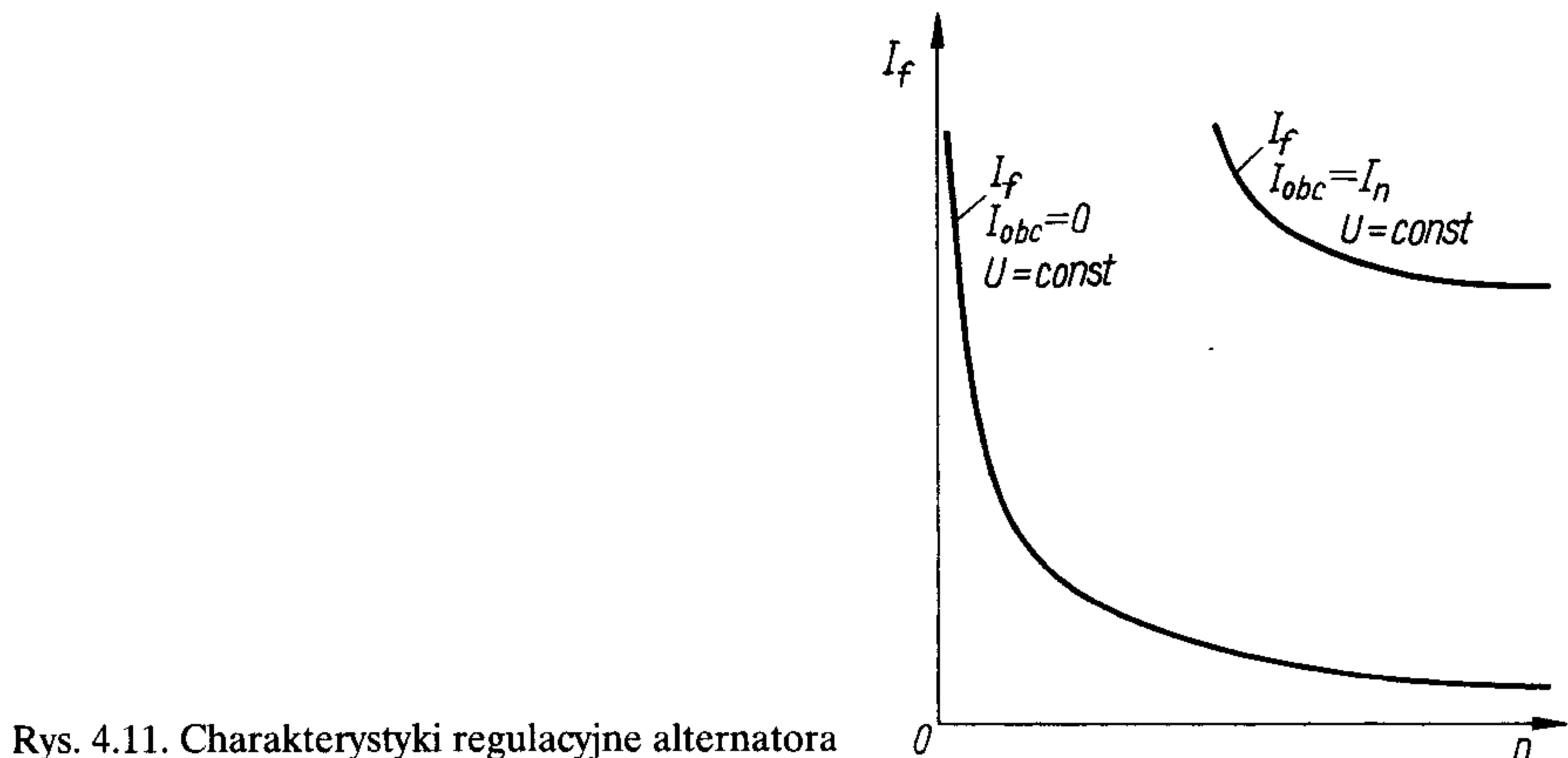
$$I_{\text{obc}} = \frac{c \Phi n}{\sqrt{(R_a + R_{\text{obc}})^2}} = c_2 n \quad (4.6)$$

gdyż strumień przyjęto za stały. Wynika stąd, że w początkowej części charakterystyki prąd obciążenia będzie proporcjonalny do prędkości obrotowej. Ze zwiększeniem prędkości obrotowej wirnika zwiększa się reaktancja indukcyjna $X_L = c_1 n$ i począwszy od pewnej wartości n zachodzi nierówność

$$R_a + R_{\text{obc}} \ll c_1 n \quad (4.7)$$

Uwzględniając tę nierówność we wzorze (4.4), otrzymuje się

$$I_{\text{obc}} = \frac{c \Phi n}{\sqrt{(c_1 n)^2}} = \frac{c}{c_1} \Phi = \text{const} \quad (4.8)$$



Rys. 4.11. Charakterystyki regulacyjne alternatora

Wynika stąd, że **przy dużych wartościach prędkości obrotowej wartość prądu obciążenia będzie prawie stała.**

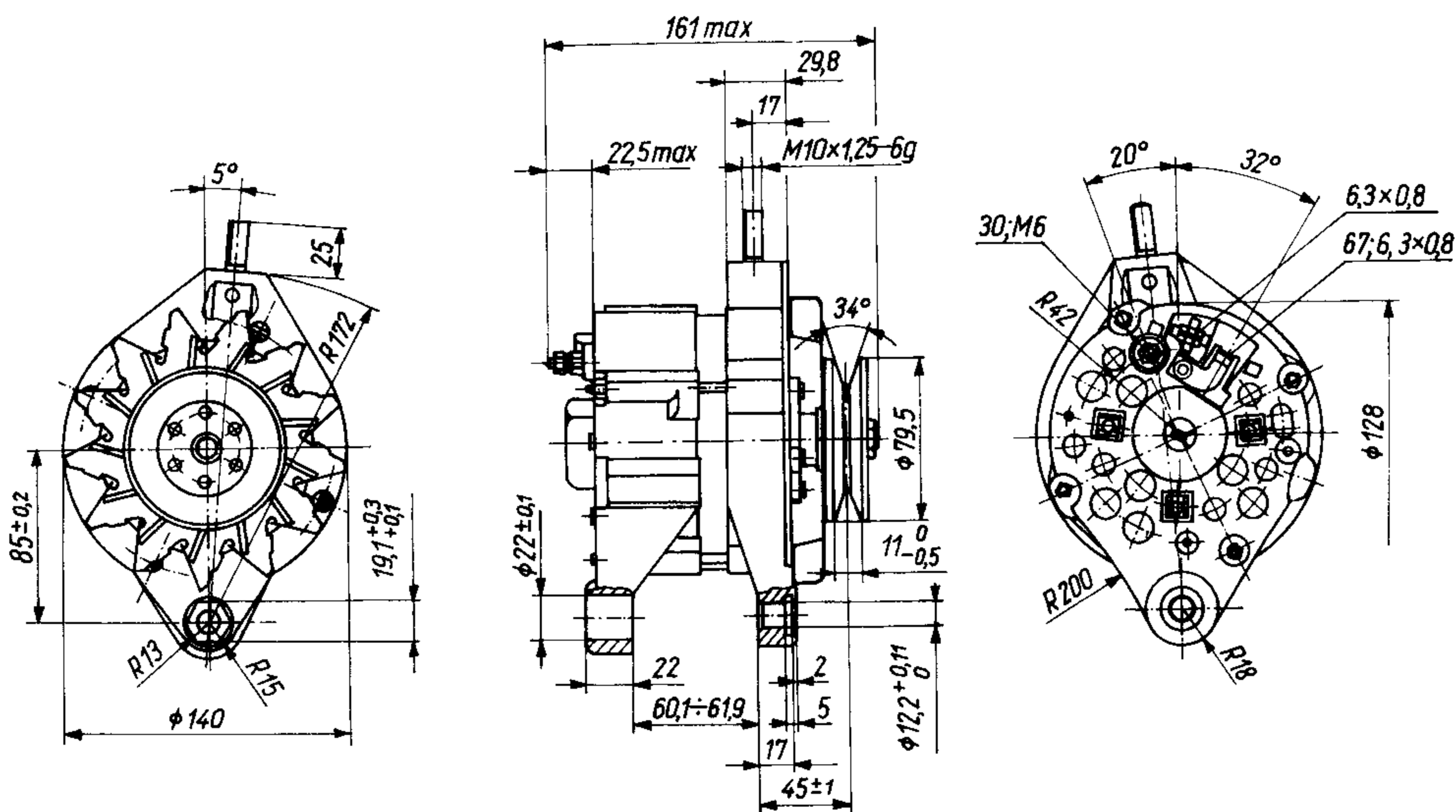
Charakterystykę regulacyjną, przy stałych wartościach napięcia regulowanego i prądu obciążenia alternatora, przedstawiono na rys. 4.11. Charakterystyka ta pozwala na ocenę warunków pracy regulatora napięcia.

Tablica 4.1

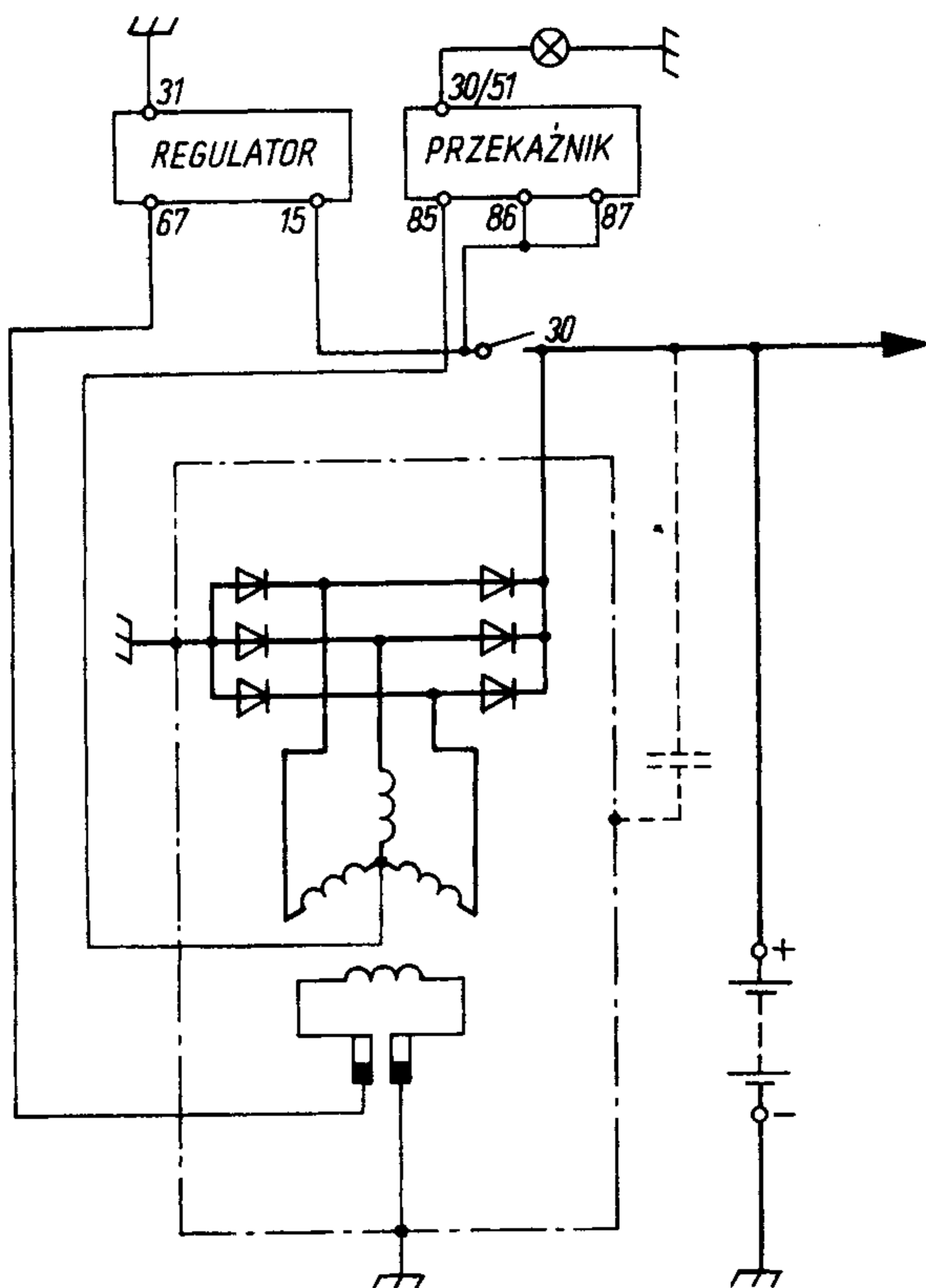
Wybrane rodzaje alternatorów produkcji polskiej

Typ alternatora	Napięcie	Prąd	Prędkość obrotowa	Rodzaj regulatora
	V	A	obr/min	
A 115.03	14	43	13 000	RNB-12
A 115.04	14	32	13 000	RNc-12
A 115.14	14	45	13 000	RNb-12
A 124.05	14	44	13 000	RC2/12D
A 125.01	14	50	14 000	RTT119AC
A 125.03	14	55	14 000	RNa-12
A 125.04	14	65	14 000	RNa-12
A 125.06	14	55	14 000	RNa-12

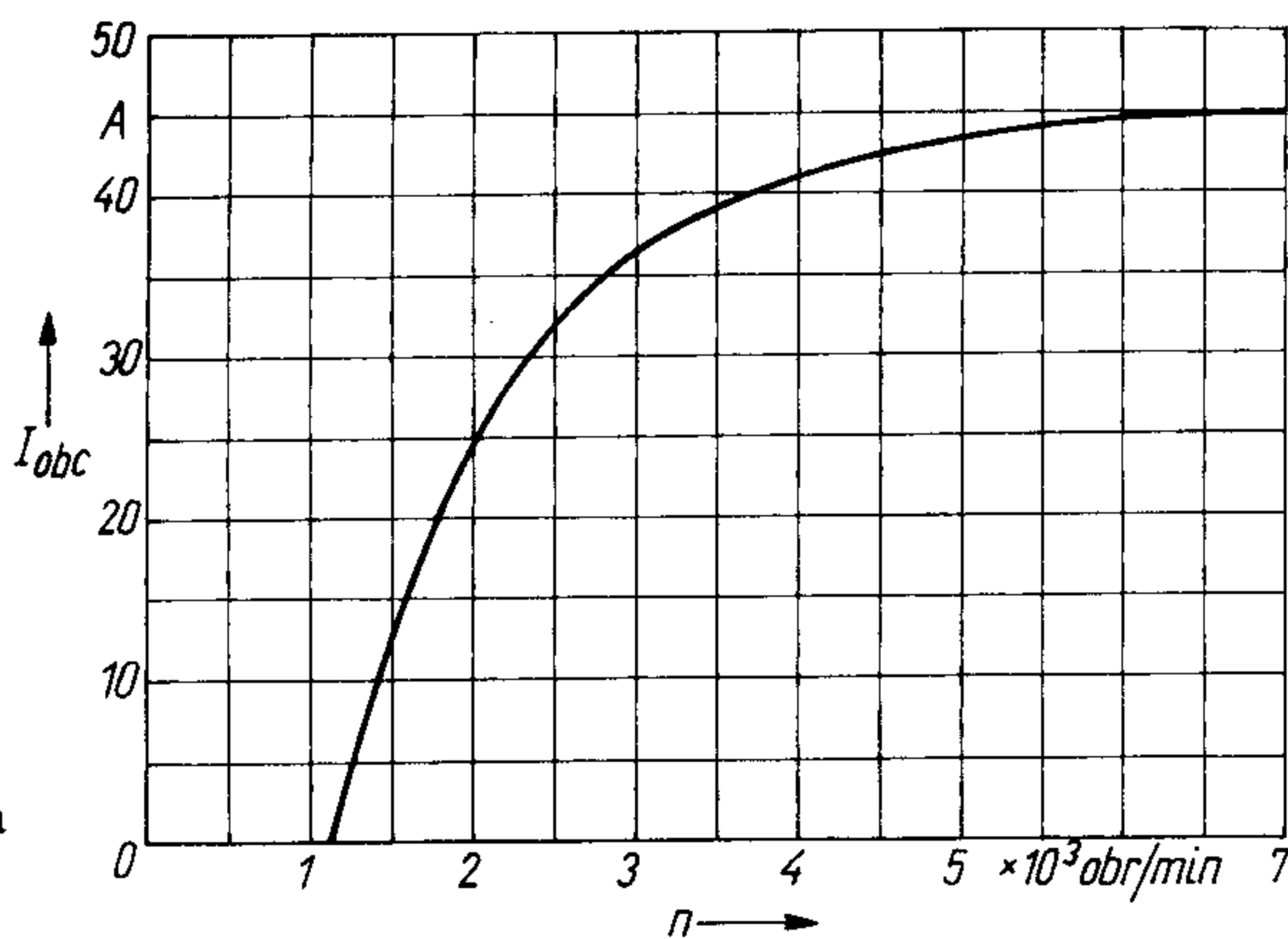
Podstawowe dane znamionowe alternatorów produkcji polskiej podano w tabl. 4.1. Na rysunkach 4.12, 4.13, 4.14 przedstawiono kolejno szkic alternatora A124.14 (14 V, 44 A) z podstawowymi wymiarami, jego schemat elektryczny oraz charakterystykę obciążenia alternatora. Prezentowany alternator jest maszyną tzw. obcowzbudną o 6-diodowym układzie prostowniczym. Alternatory tzw. obcowzbudne, z sześcioma diodami, przestają być produkowane.



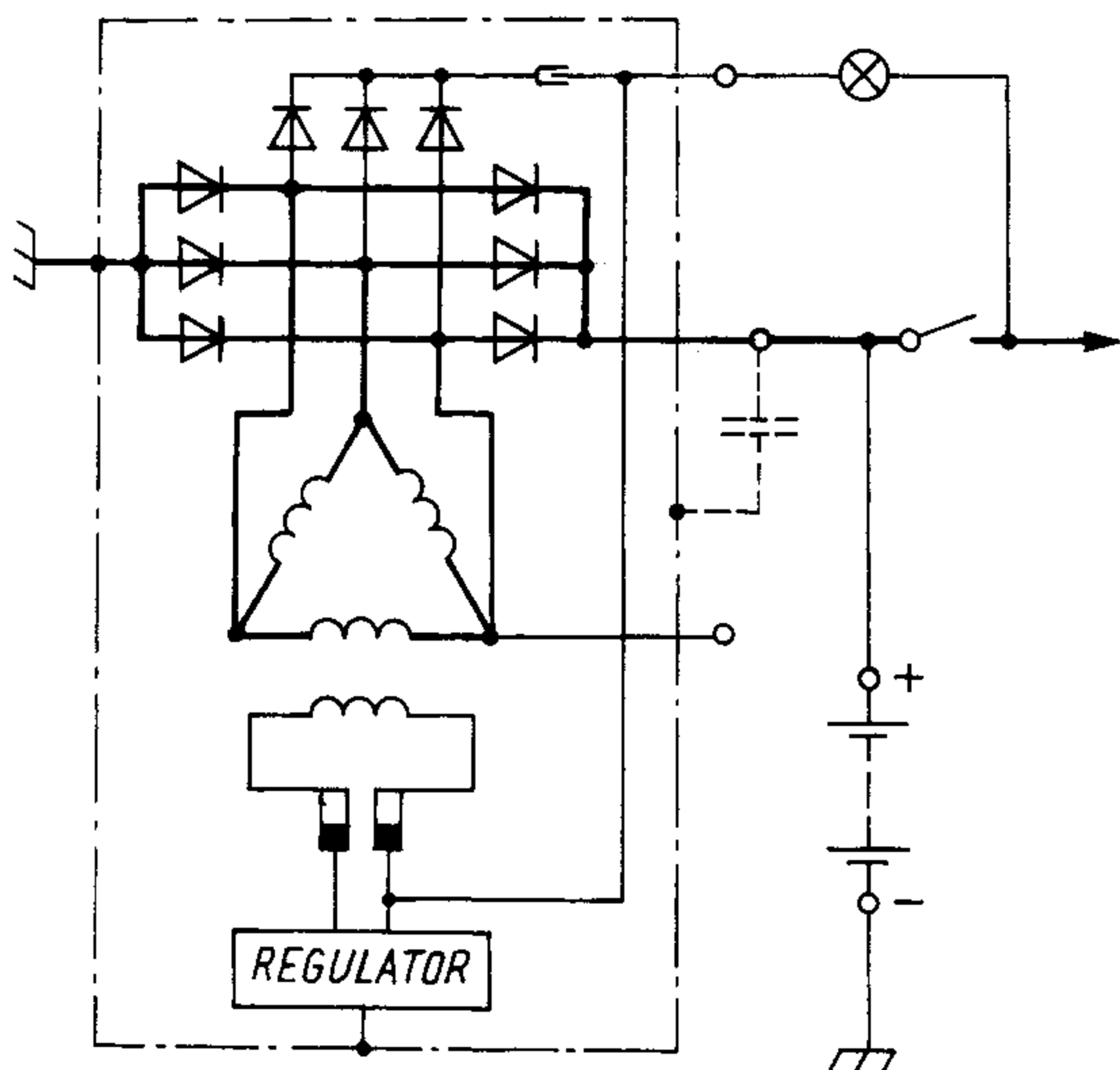
Rys. 4.12. Alternator A124.14 (14 V, 44 A) – szkic z podstawowymi wymiarami



Rys. 4.13. Schemat elektryczny alternatora A124.14 (14 V, 44 A)



Rys. 4.14. Charakterystyka obciążenia prądowo-prędkościowa alternatora A124.14 (14 V, 44 A)



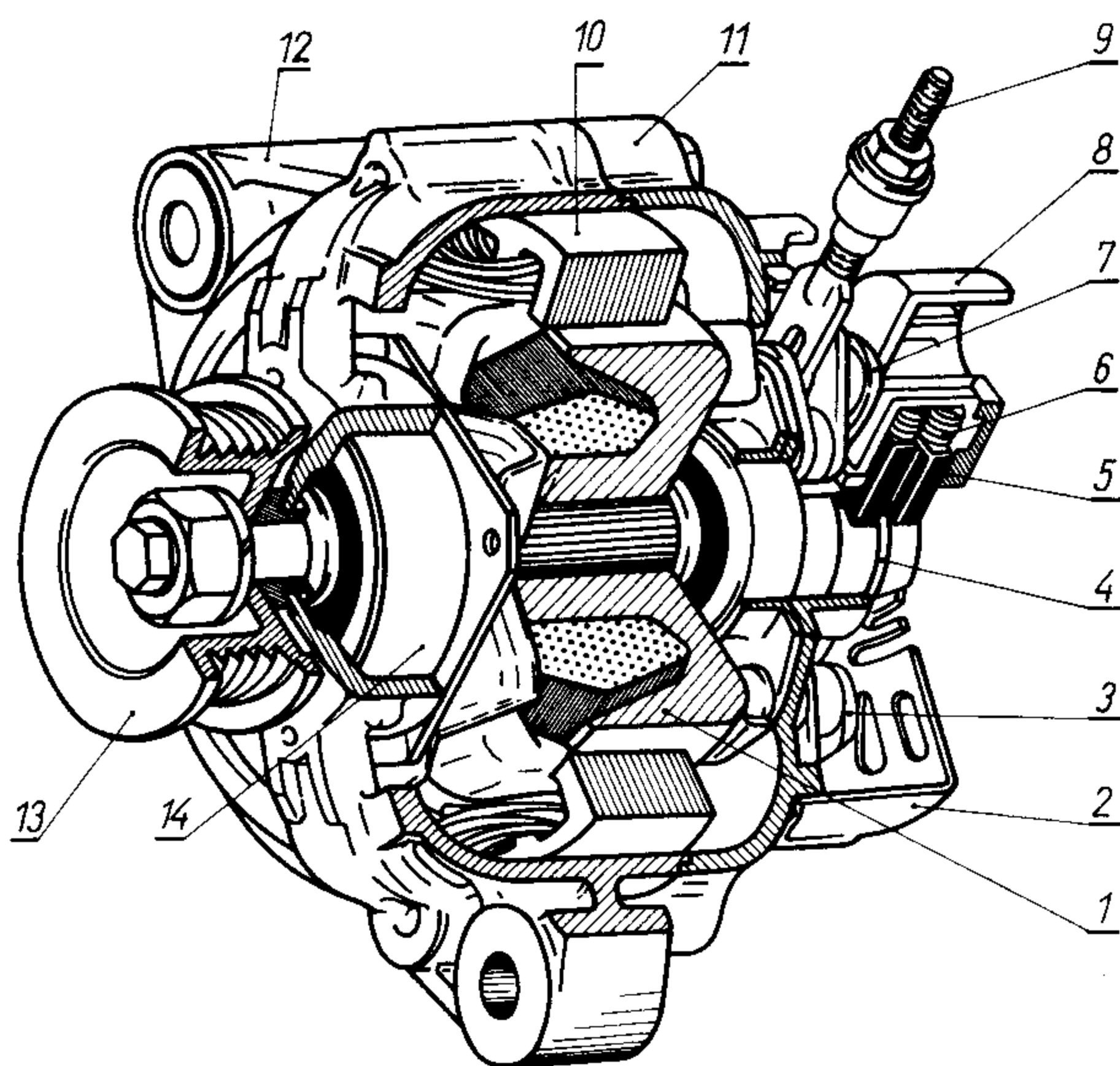
Na rysunku 4.15 przedstawiono schemat elektryczny alternatora A 125.65 (14 V, 65 A) – jest on maszyną tzw. samowzbudną o uzwojeniu stojana połączonym w trójkąt i 9-diodowym układzie prostowniczym.

Rys. 4.15. Schemat elektryczny alternatora A125.65 (14 V, 65 A)

4.4. Alternator kompaktowy

Alternator kompaktowy jest mniejszy i lżejszy od alternatora konwencjonalnego (niektóre źródła podają, że jest o 25% lżejszy i 15% mniejszy). Na rysunku 4.16 pokazano przekrój alternatora kompaktowego z zaznaczeniem jego elementów składowych.

Zmniejszenie masy i wymiarów oraz poprawę właściwości eksploatacyjnych tego typu alternatora osiągnięto dzięki modyfikacji obwodu magnetycznego

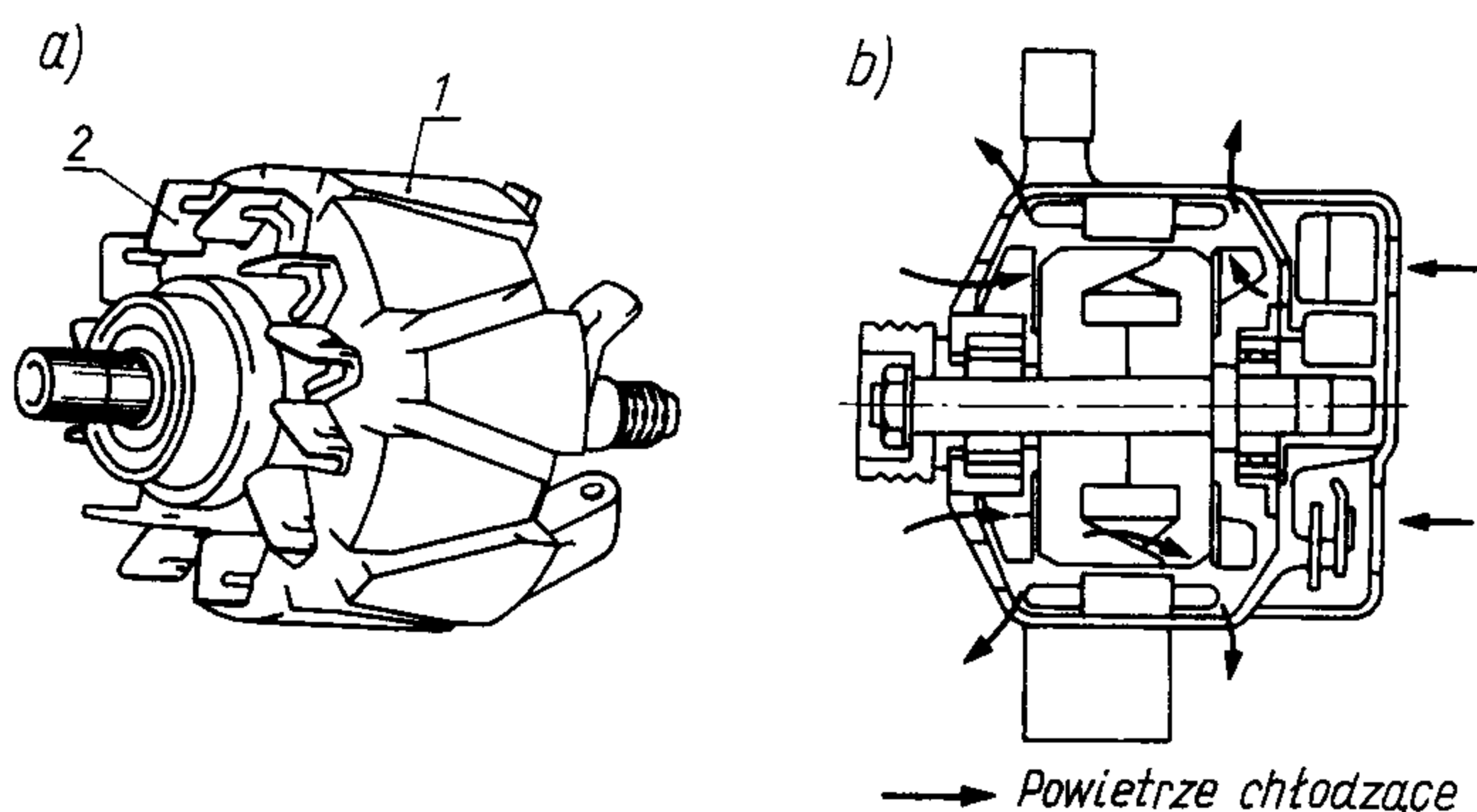


Rys. 4.16. Przekrój alternatora kompaktowego – wg [4]:

1 – wirnik, 2 – pokrywa tylna, 3 – prostownik, 4 – pierścień ślizgowy, 5 – szczotka, 6 – sprężyna, 7 – regulator napięcia, 8 – złącze, 9 – zacisk, 10 – stojan, 11 – obudowa części tylnej, 12 – obudowa części napędowej, 13 – rowkowane koło pasowe, 14 – łożysko

wzbudzenia, polegającej na zmniejszeniu wielkości szczeliny i kształtu rdzeni biegunowych. Ponadto znacznie zwiększono jego prędkość obrotową, przenosząc wentylator usytuowany na zewnątrz obudowy do wewnątrz, gdzie stanowi on integralną część wirnika. Takie rozwiązanie polepszyło efektywność chłodzenia.

Zespół wirnika składa się z rdzeni magnetycznych, cewek uzwojenia, pierścieni ślizgowych, wału oraz wentylatorów. W przeciwieństwie do alternatorów tradycyjnych, na wale są zamontowane dwa wentylatory integralne po obu stronach wirnika. W obudowach (rys. 4.16) znajdują się otwory umożliwiające przepływ powietrza, podwyższając w ten sposób efektywność chłodzenia. Stosując koło pasowe rowkowe można zwiększyć przełożenie przekładni pasowej o ok. 2,5%, poprawiając sprawność przy większych prędkościach obrotowych.



Rys. 4.17. Alternator kompaktowy – wg [4]: a) wirnik; b) drogi przepływu powietrza chłodzącego
1 – rdzeń biegunowy,
2 – wentylator

Na rysunku 4.17 przedstawiono wirnik oraz drogi przepływu powietrza chłodzącego w alternatorze kompaktowym.

4.5. Niekonwencjonalna praca alternatora

4.5.1. Uwagi wstępne

Zanieczyszczenie atmosfery stanowi poważny problem obecnych czasów, jest wynikiem rozwoju cywilizacji i uprzemysłowienia krajów. Szacuje się, że ponad 60% zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego pochodzi z silników spalinyowych pojazdów samochodowych. Jednym ze skutecznych sposobów ochrony przed realnymi zagrożeniami, jakie niosą toksyczne gazowe składniki spalin, jest stosowanie samochodowych urządzeń ekologicznych.

Do współczesnych urządzeń skutecznie zmniejszających emisję toksycznych gazowych składników spalin należą **reaktory katalityczne**. Toksyczne gazowe składniki spalin to tlenek węgla (CO), węglowodory (HC) i tlenki azotu (NO_x). Analizując funkcje i zachowanie się reaktorów katalitycznych w różnych temperaturach, można stwierdzić, że w temperaturze 0°C do 250°C, tj. w czasie tzw.

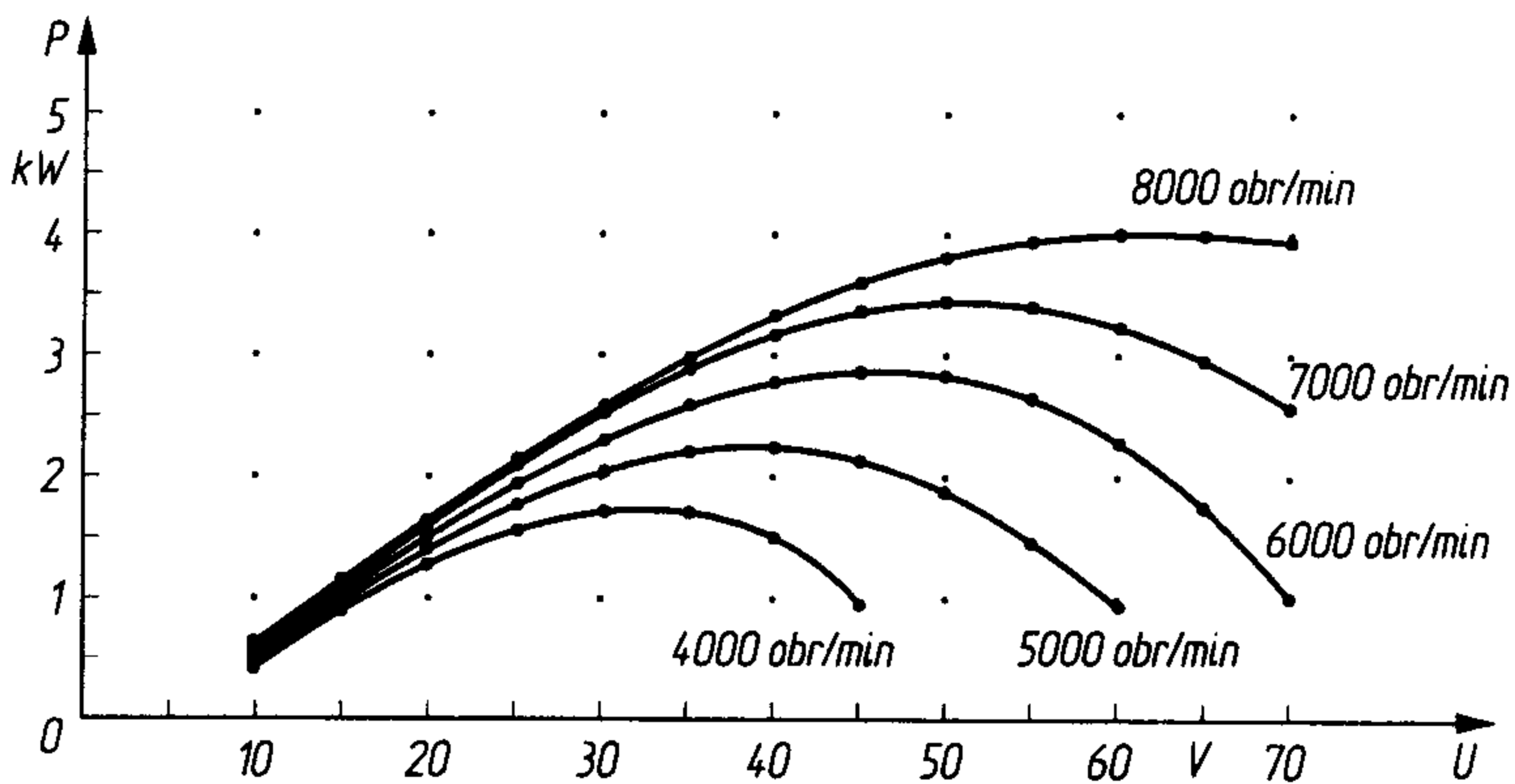
zimnego rozruchu silnika spalinowego, reaktory katalityczne nie wykazują aktywności. Jest to okres znikomej skuteczności neutralizacji toksycznych gazowych składników spalin przez katalizator. Testy jezdne, rozpoczynające się od fazy biegu jałowego i umiarkowanych przyspieszeń, wykazały, że reaktor osiągnie wymaganą temperaturę roboczą po upływie ok. 120 s. W tym czasie spaliny nie są oczyszczane. Usprawnienie pracy reaktorów katalitycznych w czasie tzw. zimnego rozruchu silnika spalinowego wymaga dostarczenia dodatkowej energii. Można do tego celu stosować pojazdowe źródło energii elektrycznej w postaci alternatora, który może być zasilany energią powstałą z nadwyżki mocy silnika spalinowego stanowiącego jego pierwotne źródło energii. W proponowanym systemie nośnikiem energii jest prąd elektryczny, który może być pozyskiwany z alternatora pracującego w warunkach kontrolowanego przeciążenia. Z dostępnej literatury wynika, że należy dostarczyć moc elektryczną ok. 5 kW, która zasilając rezystory pieca grzewczego reaktora katalitycznego znacznie skraca czas osiągnięcia wymaganej temperatury roboczej.

4.5.2. Praca alternatora w warunkach kontrolowanego przeciążenia

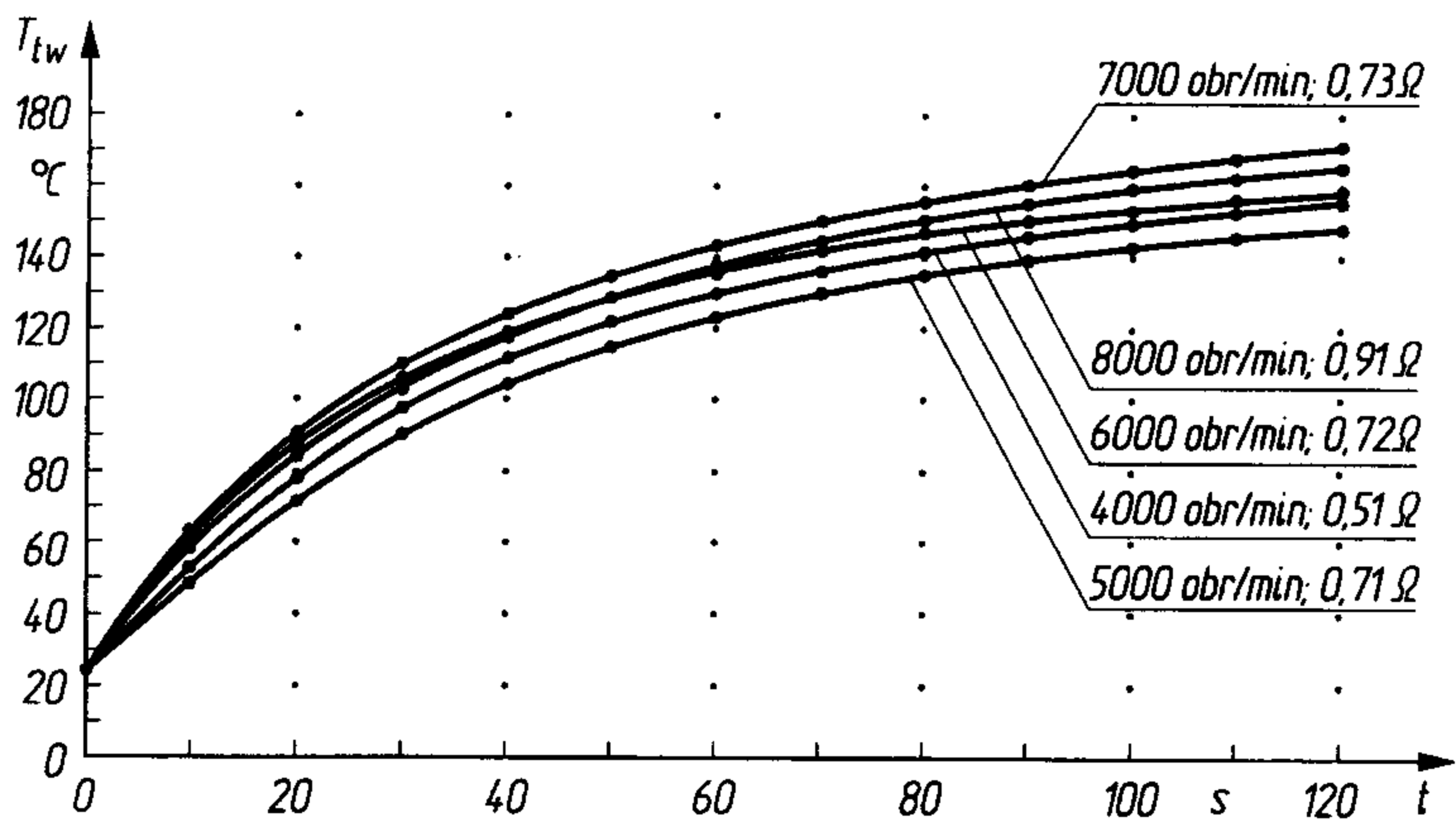
Alternator, pełniący w samochodzie normalne funkcje, współpracuje z regulatorem utrzymującym napięcie ok. 14 V. Natomiast alternator pracujący w warunkach kontrolowanego przeciążenia, aby jego moc osiągnęła wartość 5 kW, powinien współpracować z regulatorem utrzymującym napięcie nawet 60 V. W tego typu układach jest stosowane urządzenie przełączające alternator do pracy z regulatorem utrzymującym napięcie 14 V lub 60 V. Urządzenie to ma za zadanie skutecznie włączać i wyłączać alternator, zależnie od jego pracy w warunkach kontrolowanego przeciążenia.

Na rysunku 4.18 przedstawiono schemat układu przełączającego alternator do pracy z regulatorem napięcia 14 V i 60 V, współpracujący z elementem grzejnym reaktora katalitycznego sterowanym regulatorem temperatury. Alternator ma wyprowadzone na zewnątrz zaciski $+B$ i $+D$ (z układu mostkowego prostowników) oraz zaciski F i DF (z uzwojenia wzbudzenia). Regulator napięcia alternatora na napięcie 14 V ma wyprowadzone na zewnątrz zaciski, oznaczone $+D$ i DF , umożliwiające połączenie go z alternatorem, akumulatorem i odbiornikami instalacji wyposażenia elektrycznego samochodu. Regulator napięcia 60 V, którego wyprowadzone na zewnątrz zaciski oznaczono $+B$ i DF , nie wchodzi w skład typowego wyposażenia samochodu. Po włączeniu (chwilowym) przycisku S regulator temperatury RT-30 jest włączony zgodnie z zaprogramowaną temperaturą na 250°C. Regulator ten ma zakres temperatury od -50°C do 1000°C. Regulator jest połączony z termoelektrycznym czujnikiem temperatury, wykonanym z termopary płaszczonej pojedynczej. Styki regulatora temperatury z pozycji 3-4 są przełączane do pozycji 3-5. Jednocześnie są przełączane styki przekaźników P_1 , P_2 i P_3 z pozycji 30-87a do pozycji 30-87. Zmiana pozycji tych styków powoduje włączenie alternatora do współpracy z regulatorem napięcia 60 V.

uzwojenie twornika maszyny może osiągnąć temperaturę do 200°C, a dioda prostownicza do 175°C. Podczas badań eksperymentalnych trwających 120 s temperatura badanych elementów nie przekroczyła wartości dopuszczalnych. Alternator samowzbudny w zakresie prędkości obrotowych od 4000 do 8000 obr/min (rys. 4.19) uzyskał maksymalną moc obciążenia w granicach od 1,740 do 3,960 kW. Ponieważ moc znamionowa badanego alternatora była równa 0,9 kW, przeto dla badanego zakresu obciążeń stanowi to (1,9 ÷ 4,4)-krotne przekroczenie mocy znamionowej.



Rys. 4.19. Zależności mocy obciążenia alternatora samowzbudnego od napięcia na zaciskach maszyny, przy różnych prędkościach obrotowych



Rys. 4.20. Przebiegi temperatury uzwojenia twornika alternatora samowzbudnego w funkcji czasu, przy takich prędkościach obrotowych wirnika i rezystancjach obciążenia, przy których alternator uzyskiwał maksymalną moc obciążenia

4.6. Badania diagnostyczne alternatorów samochodowych

4.6.1. Zakres pomiarów

W trakcie badań można określić:

- **Charakterystykę prądu obciążenia** alternatora w funkcji jego prędkości obrotowej $I_{\text{obc}} = f(n)$ przy $U = \text{const}$.
- **Charakterystyki regulacyjne** $I_f = f(n)$ przy $U = \text{const}$, przy pracy maszyny w stanie jałowym i przy obciążeniu, szczególnie znamionowym.

4.6.2. Stanowisko badawcze

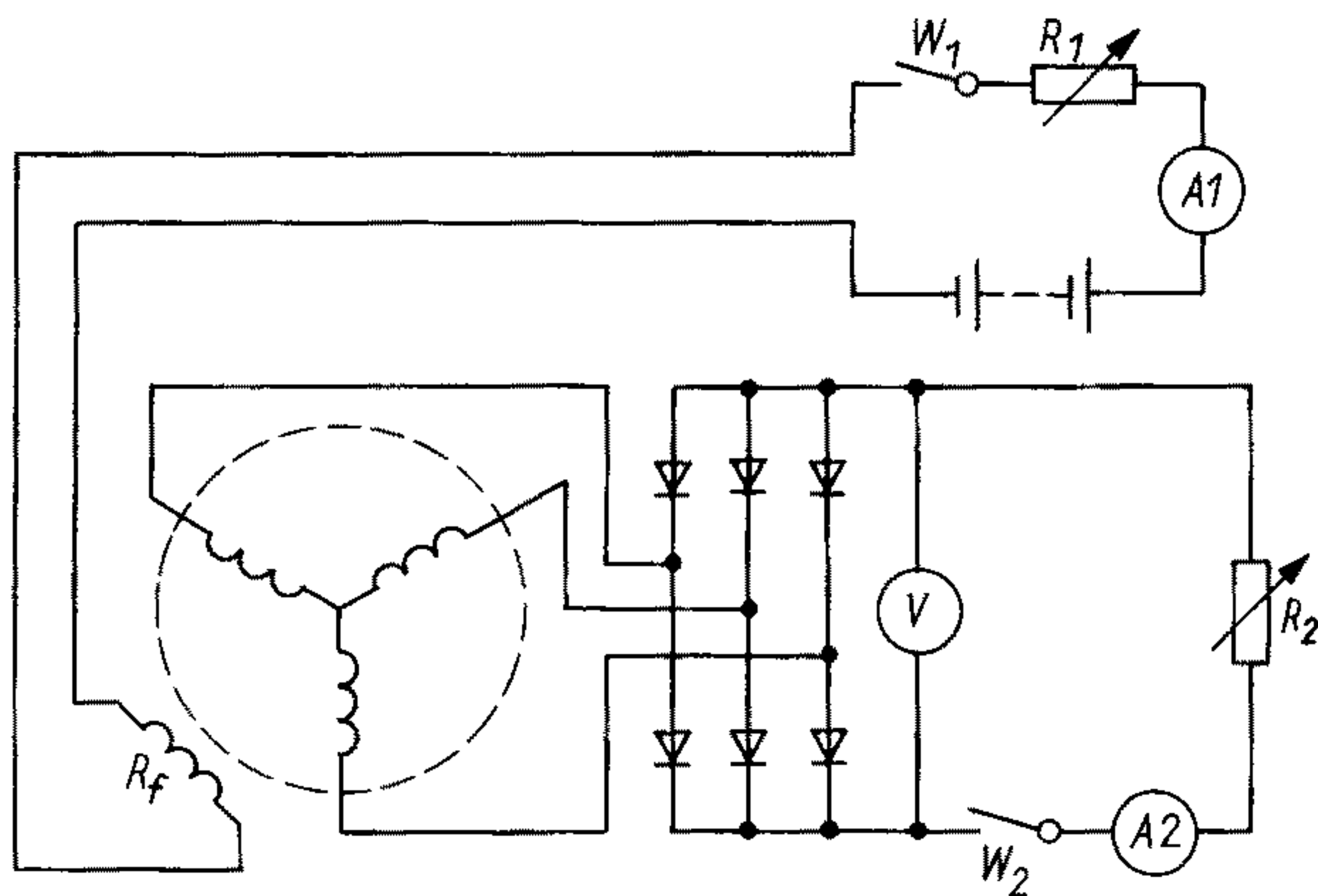
Na rysunku 4.21 przedstawiono schemat połączeń alternatora. Napęd alternatora może być wykonany np. w układzie zestawu ze sterownikiem częstotliwości, silnikiem indukcyjnym i specjalną przekładnią mechaniczną.

4.6.3. Wykonanie badań

Charakterystykę prądu obciążenia alternatora w funkcji jego prędkości obrotowej $I_{\text{obc}} = f(n)$ wyznacza się przy stałych wartościach napięcia na zaciskach maszyny i stałej wartości prądu w obwodzie wzbudzenia. Schemat połączeń alternatora do wyznaczenia charakterystyki $I_{\text{obc}} = f(n)$ przedstawiono na rys. 4.21. Dla badanego alternatora należy założyć stałą wartość napięcia, np. równą 14,4 V, którą w praktyce przyjmuje się jako średnią wartość napięcia regulowanego. Wartość prądu wzbudzenia utrzymuje się taką, jaka wynika z zależności między założonym napięciem i rezystancją uzwojenia wzbudzenia, przy czym źródłem napięcia wzbudzenia jest akumulator (rezystor R_1 zwarty). *Alternator uruchamia się w stanie jałowym, doprowadzając jego prędkość obrotową do takiej wartości, przy której osiągnie on założoną wartość napięcia regulowanego – jest to pierwszy punkt pomiaru. Następnie należy włączyć obciążenie (zamknąć wyłącznik W_2). Zmieniając wartość prądu obciążenia (regulacja rezystorem R_2), należy tak dobierać prędkość obrotową, aby napięcie było stałe.* Pomiar wykonuje się w całym zakresie prędkości obrotowej badanego alternatora.

Wyznaczenie **charakterystyk regulacyjnych** $I_f = f(n)$ przy pracy alternatora w stanie jałowym i przy obciążeniu wymaga korzystania ze schematu przedstawianego na rys. 4.21.

Zależność $I_f = f(n)$ w określonym stanie pracy maszyny wyznacza się przy założonej stałej wartości napięcia na zaciskach alternatora, np. równej 14,4 V. Uzwojenie wzbudzenia alternatora zasila się z baterii akumulatorów. Włączony w obwód wzbudzenia rezystor regulacyjny R_1 umożliwia dokonywanie zmian wartości prądu wzbudzenia. W celu określenia charakterystyki regulacyjnej przy pracy alternatora w stanie jałowym, pomiary należy rozpocząć w chwili doprowadzenia



Rys. 4.21. Schemat połączeń – alternatora do wyznaczania charakterystyk obciążenia i regulacyjnych:

$A1$, $A2$, V – amperomierze i woltomierz magnetoelektryczne; R_1 – rezystor do regulacji prądu wzbudzenia, R_2 – rezystor do regulacji prądu obciążenia; W_1 , W_2 – wyłączniki w obwodzie prądu wzbudzenia i w obwodzie prądu obciążenia

napięcia na zaciskach alternatora do założonej wartości napięcia regulowanego, równej 14,4 V. Podczas dalszych pomiarów zwiększa się stopniowo prędkość obrotową alternatora, tak regulując rezystorem R_1 wartość prądu wzbudzenia, aby napięcie na zaciskach maszyny miało założoną wartość regulowaną.

Pomiary **przy obciążeniu** (wyłącznik W_2 zamknięty) wykonuje się w podobny sposób, jak poprzednio z tym, że pierwszy punkt charakterystyki ustala się przy takiej prędkości obrotowej, która przy określonym prądzie obciążenia daje założoną wartość napięcia regulowanego (14,4 V).

Ponieważ charakterystyki regulacyjne, szczególnie przy pracy maszyny w stanie jałowym, stanowią przebiegi zbliżone do hiperboli, to początkowo pomiary wykonuje się zwiększając prędkość obrotową o małe przedziały.

4.7. Regulatory napięcia alternatorów samochodowych

4.7.1. Wiadomości ogólne

Ciągłe zmiany warunków pracy alternatora podczas ruchu pojazdu powodują, że bez zastosowania elementów regulacyjnych jego napięcie zmieniałoby się w zbyt szerokich granicach, co wpłynęłoby niekorzystnie zarówno na akumulator, jak i na inne odbiorniki energii elektrycznej.

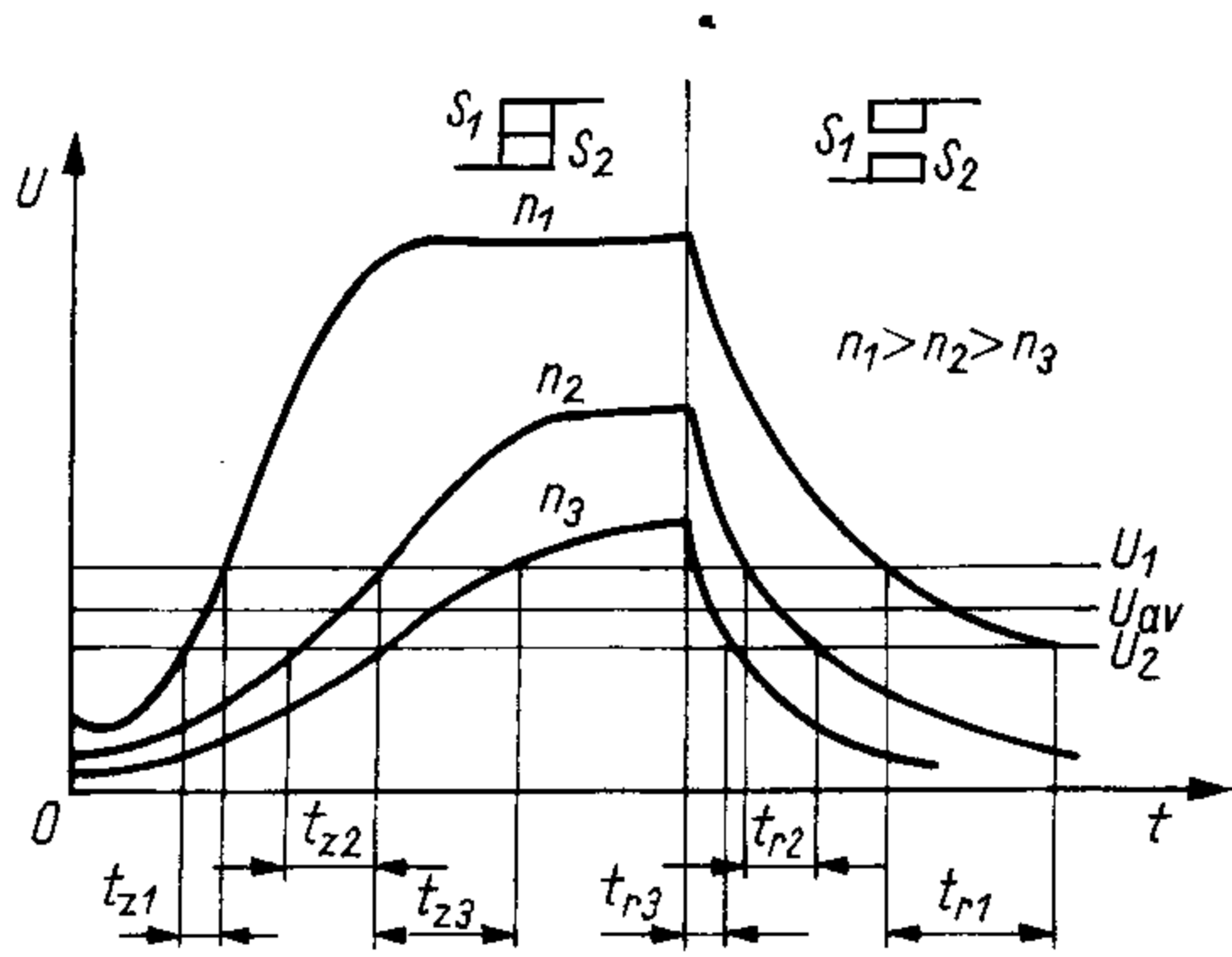
Wytworzone napięcie, określone wzorem $U_0 = c\Phi n$, ma wartość stałą wówczas, gdy zmianom prędkości obrotowej odpowiadają zmiany strumienia magnetycznego takie, aby utrzymać $\Phi n = \text{const}$ – to znaczy ze zwiększeniem prędkości obrotowej powinien maleć strumień magnetyczny Φ , aby napięcie U_0 pozostało stałe. Zmiany strumienia magnetycznego są uzależnione od zmian prądu w obwodzie wzbudzenia alternatora, który można regulować przez włączenie i wyłączenie odpowiednio dobranego rezystora. **Wibracyjne regulatory napięcia** pracują na zasadzie regulatora dwupołożeniowego. W regulatorze dwupołożeniowym wartość średnią prądu wzbudzenia reguluje się przez okresowe włączenie dodatkowej re-

zystancji w obwód wzbudzenia. Czas włączenia rezystora wzrasta ze zwiększeniem prędkości obrotowej.

Przy małej prędkości obrotowej alternatora maksymalna wartość jego napięcia jest mniejsza niż przy dużych prędkościach obrotowych. Ponadto prędkość zmian napięcia alternatora zależy od prędkości obrotowej.

Na rysunku 4.22 przedstawiono wykresy zmian napięcia alternatora przy różnych prędkościach obrotowych. Ze wzrostem napięcia wzrasta strumień magnetyczny w uzwojeniu sterującym (elektromagnesie) stykami regulatora i przy określonej wartości napięcia następuje rozwarcie styków i włączenie dodatkowej rezy-

Rys. 4.22. Zmiana napięcia alternatora przy różnych prędkościach obrotowych:
 t_z, t_r – czas zwarcia i rozwarcia styków regulatora; S_1, S_2 – styki; U_{av} – wartość średnia napięcia; U_1, U_2 – wartość maksymalna i minimalna napięcia; n – prędkość obrotowa



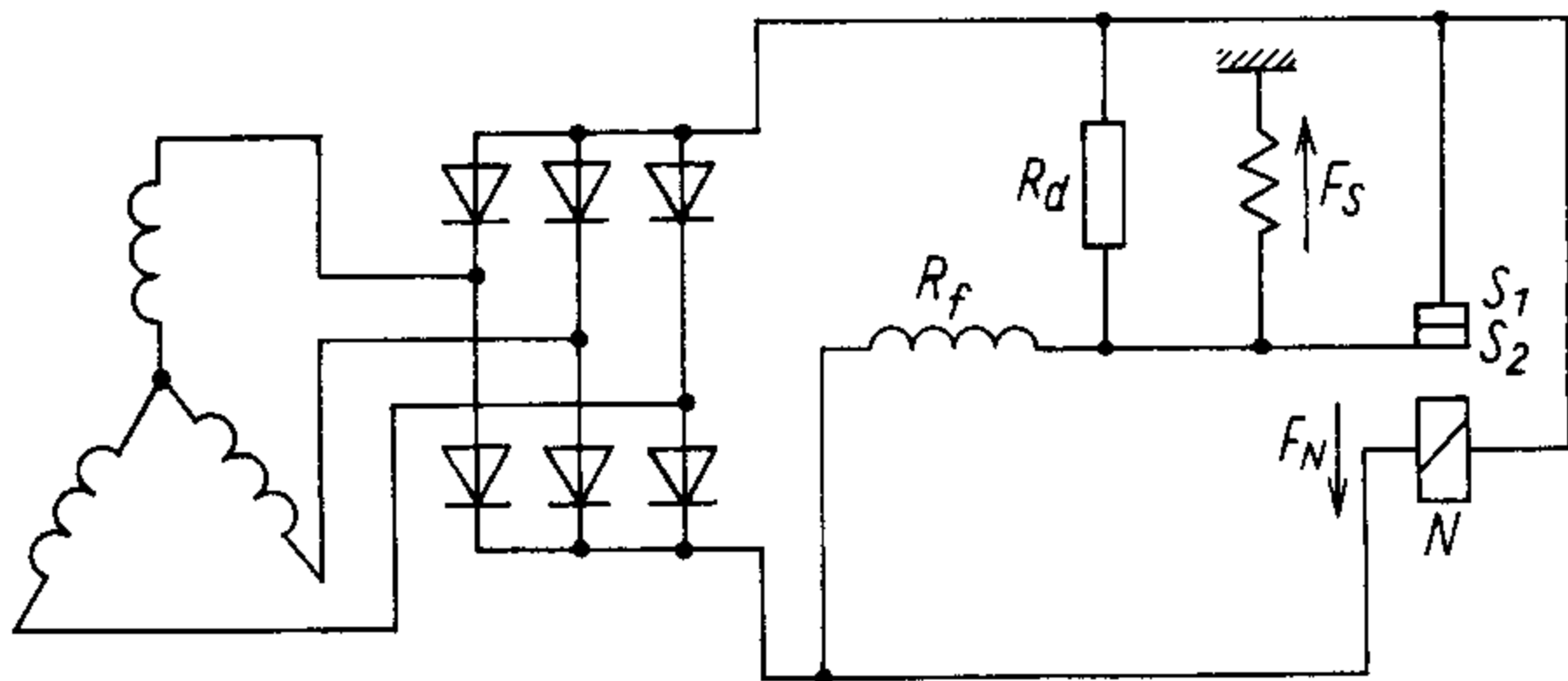
stancji w obwód wzbudzenia. Powoduje to skokowe zmniejszenie prądu wzbudzenia. Wskutek tego w uzwojeniu indukuje się *siła elektromotoryczna samoindukcji*, przeciwstawiająca się zmniejszeniu prądu. Prąd wzbudzenia maleje wolniej i tym samym z opóźnieniem maleje napięcie na zaciskach alternatora.

Rola regulatorów sprowadza się do regulacji napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu.

4.7.2. Jednostopniowy wibracyjny regulator napięcia

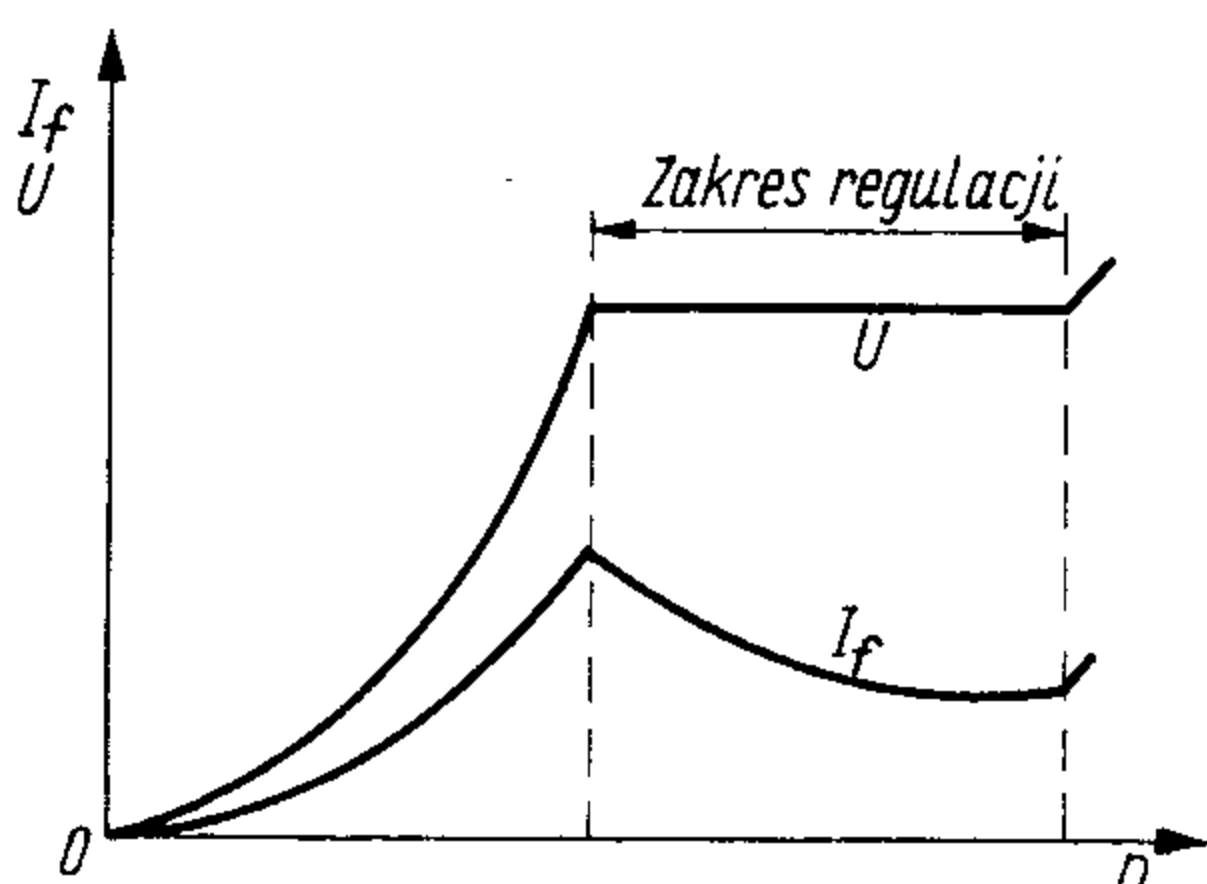
W skład jednostopniowego wibracyjnego regulatora napięcia wraz z współpracującym z nim alternatorem (rys. 4.23) wchodzi: uzwojenie napięciowe elektromagnesu N wytwarzające siłę F_N , połączone równolegle z zaciskami alternatora, styk nieruchomy S_1 oraz styk ruchomy S_2 (na który działa siła F_N), rezystancja do-

Rys. 4.23. Schemat jednostopniowego wibracyjnego regulatora napięcia



datkowa R_d włączona szeregowo w obwód wzbudzenia oraz sprężyna o sile naciągu F_s , powodująca w stanie beznapięciowym zwarcie styków.

Zasada działania regulatora jest następująca. Wraz ze zwiększaniem prędkości obrotowej alternatora zwiększa się wartość prądu wzbudzenia, a więc wzrasta również wartość napięcia alternatora. Dopóki napięcie alternatora nie wymaga regulacji, dopóty prąd w obwodzie wzbudzenia płynie przez rezystancję uzwojenia wzbudzenia R_f i zwarte styki regulatora. Przy wzroście napięcia zwiększa się prąd w uzwojeniu napięciowym elektromagnesu N , a więc również siła F_N działająca na styk ruchomy S_2 , której zwrot jest przeciwny niż siły naciągu sprężyny F_s . Przy określonej wartości napięcia, przy której F_N stanie się większe niż F_s , nastąpi rozwarcie styków S_1 i S_2 oraz włączenie rezystancji dodatkowej R_d do obwodu wzbudzenia. Spowoduje to zmniejszenie prądu wzbudzenia alternatora, a więc i strumienia magnetycznego, wobec czego obniży się napięcie alternatora. Zmniejszy się również siła F_N i gdy $F_s > F_N$, wówczas styki regulatora zostaną ponownie zwarte. Ponownie zwiększa się prąd wzbudzenia (wyłączenie z obwodu wzbudzenia rezystancji dodatkowej), co z kolei powoduje wzrost napięcia na zaciskach alternatora. Cykl pracy jednostopniowego regulatora napięcia powtórzy się. Ponieważ częstotliwość zmian jest rzędu kilkunastu herców, regulator utrzymuje praktycznie stałą wartość napięcia.



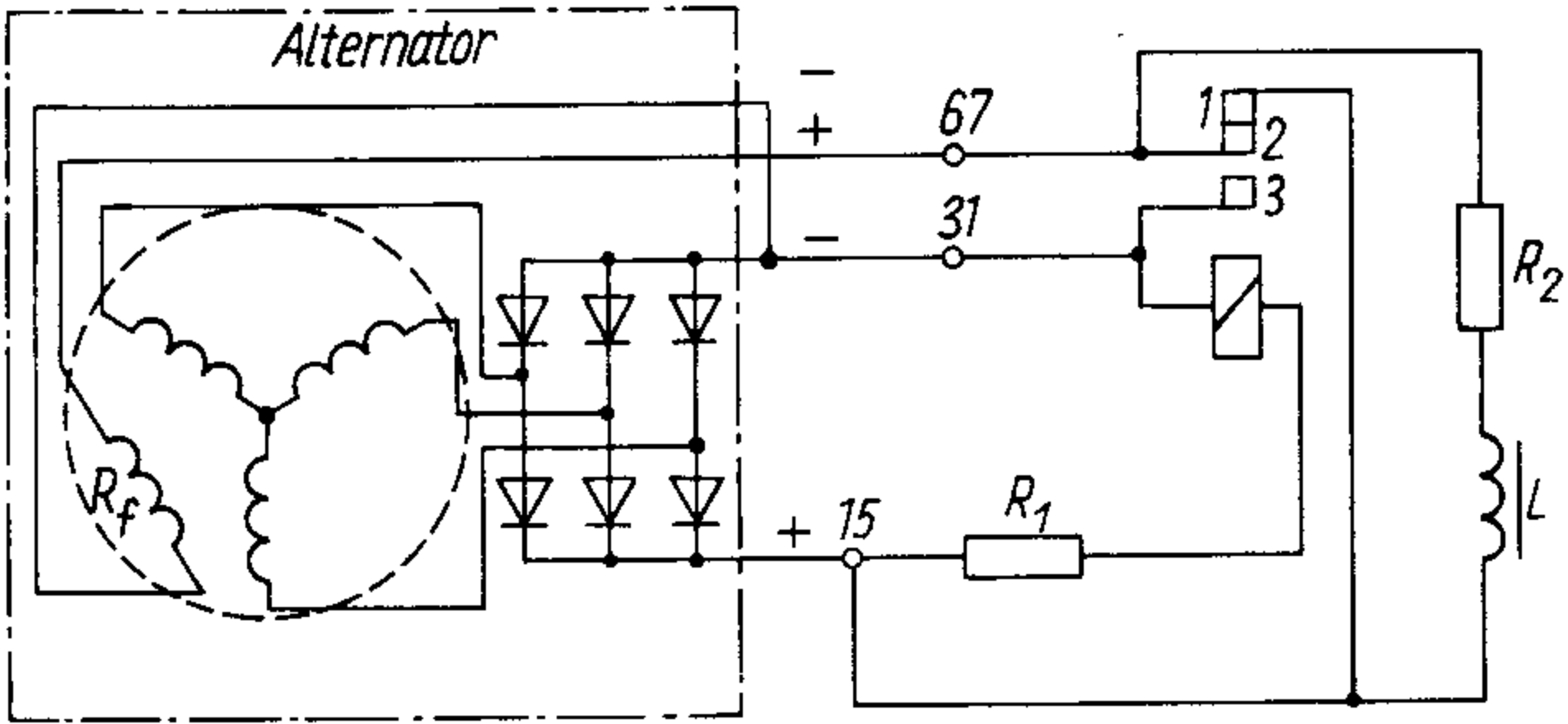
Rys. 4.24. Przebiegi zmian prądu wzbudzenia i napięcia w funkcji prędkości obrotowej alternatora współpracującego z jednostopniowym wibracyjnym regulatorem napięcia

Przebiegi zmian prądu wzbudzenia i napięcia w funkcji prędkości obrotowej alternatora współpracującego z regulatorem jednostopniowym przedstawiono na rys. 4.24.

4.7.3. Dwustopniowy wibracyjny regulator napięcia

Zasada działania regulatora jest następująca. Regulator ma trzy styki, z których zewnętrzne 1 i 3 są nieruchome. Dopóki napięcie alternatora nie wymaga regulacji, dopóty styki 1 i 2 są zwarte. Prąd wzbudzenia płynie w obwodzie, w którym znajduje się tylko rezystancja uzwojenia wzbudzenia. Przy dalszym wzroście napięcia następuje rozwarcie styków 1 i 2 pierwszego stopnia regulacji. W obwód wzbudzenia zostaje włączony rezystor dodatkowy R_2 . Gdy prędkość obrotowa nadal wzrasta, wzrasta również napięcie alternatora i rozpoczyna się praca na drugim

Rys. 4.25. Schemat dwustopniowego wibracyjnego regulatora napięcia współpracującego z alternatorem



stopniu regulacji. Styki 2 i 3 tego stopnia zwierają się i rozwierają. Przy zwarciu styków następuje dołączenie wyprowadzonego zacisku uzwojenia wzbudzenia 67 do masy. Ponieważ drugi koniec uzwojenia wzbudzenia jest na stałe połączony z masą, więc następuje gwałtowne zmniejszenie prądu wzbudzenia i dzięki temu napięcie alternatora nie może wzrosnąć ponad określoną wartość. Parametry wibracyjnych regulatorów napięcia alternatorów podano w tabl. 4.2.

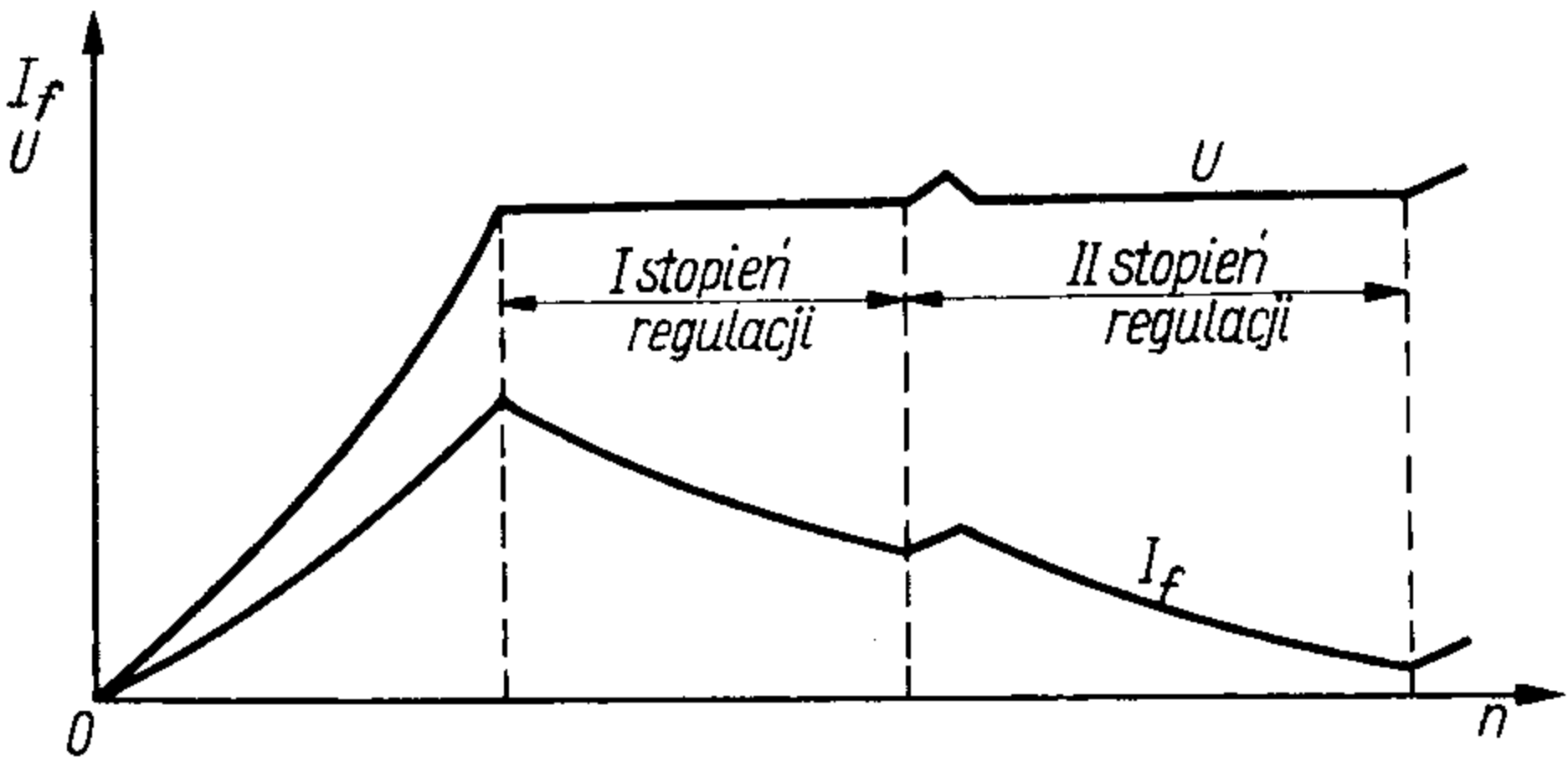
Charakterystyki $I_f = f(n)$ oraz $U = f(n)$ alternatora współpracującego z regulatorem dwustopniowym przedstawiono na rys. 4.26.

Tablica 4.2

Charakterystyczne dane wybranych wibracyjnych regulatorów napięcia alternatora

Typ regulatora	Napięcie regulowane II stopnia regulacji	Napięcie regulowane I stopnia regulacji	Rezystancja dodatkowa
	V	V	Ω
RC1/12B <i>Elmot</i>	14,2 ± 0,3	13,5÷13,8±0,3	5,35÷5,95
AD1/14 <i>Bosch</i>	14,2 ± 0,4	13,5÷13,8±0,4	—
RC2/12D <i>Elmot</i>	14,2 ± 0,3	13,7÷14,2±0,3	5,65±0,3
RC2/12E <i>Elmot</i>	14,2 ± 0,3	13,7÷14,2±0,3	3,7±0,2

Rys. 4.26. Przebiegi zmian prądu wzbudzenia i napięcia w funkcji prędkości obrotowej alternatora współpracującego z dwustopniowym wibracyjnym regulatorem napięcia



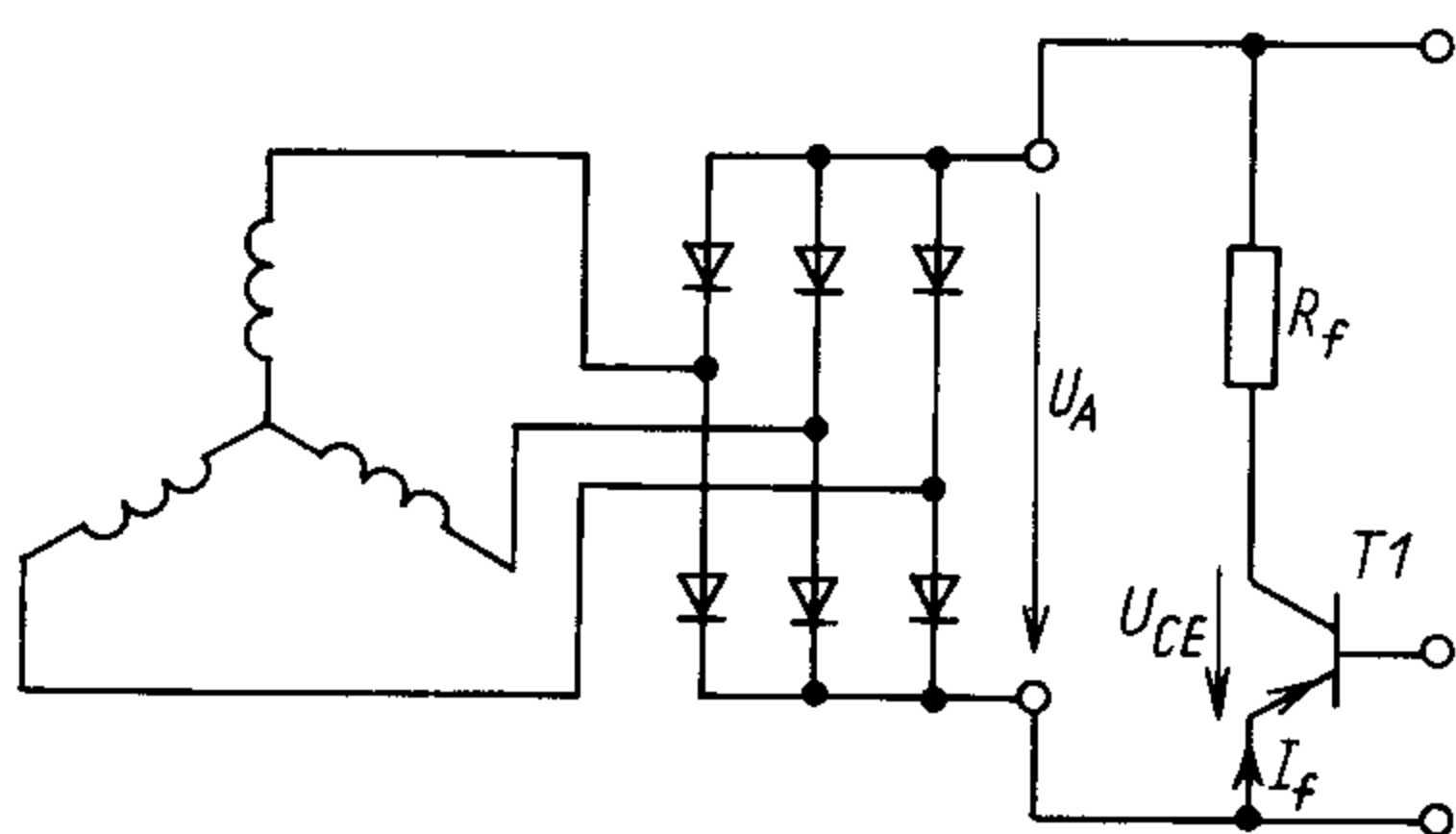
4.7.4. Regulatory elektroniczne alternatorów

Zakładając znajomość działania elektromechanicznych (wibracyjnych) regulatorów napięcia alternatorów, określono **członem wykonawczym** tę część regulatora, której element bądź elementy biorą udział bezpośrednio w regulacji prądu wzbudzenia alternatora. Elementy te włączone w obwód wzbudzenia muszą mieć właściwości umożliwiające zmianę ich rezystancji w bardzo szerokich granicach, teoretycznie od zera do nieskończoności. W regulatorze wibracyjnym elementami tego członu są styki i rezystancja dodatkowa. Można zastąpić je elementem elektronicznym – tranzystorem.

W celu określenia wymaganych parametrów **tranzystora** członu wykonawczego należy dodatkowo ustalić m.in.:

- wartość napięcia regulowanego alternatora,
- wartość maksymalną prądu wzbudzenia alternatora,
- układ pracy tranzystora,
- rodzaj regulacji napięcia (regulacja ciągła lub impulsowa),
- wartość mocy traconej w tranzystorze w procesie regulacji.

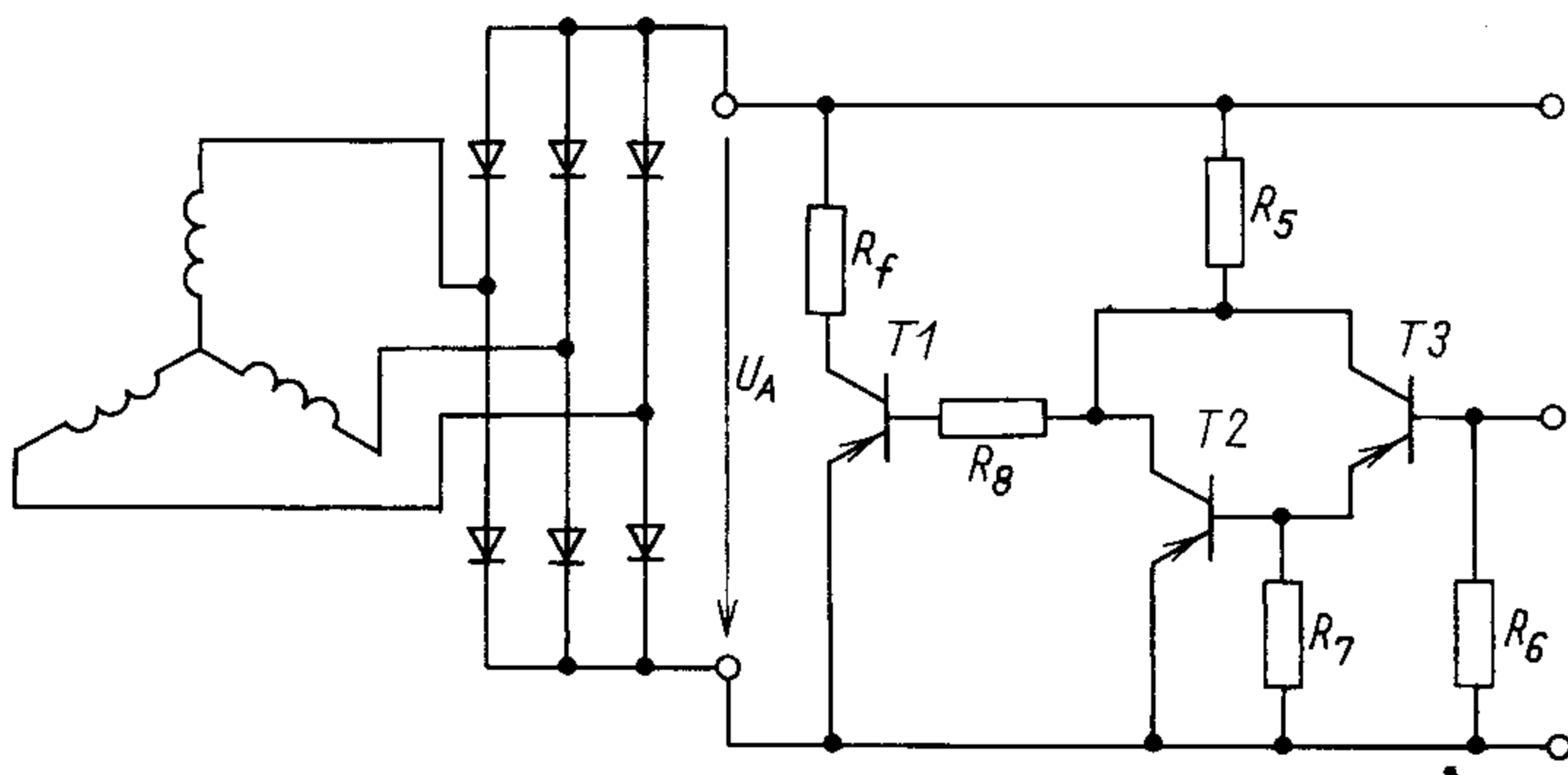
Wybrany tranzystor członu wykonawczego (rys. 4.27) musi być odpowiednio sterowany, aby spełniał rolę styków regulatora wibracyjnego, tzn. przyjmował dwa stany pracy: nasycenia i odcięcia (przewodzenie i nieprzewodzenie).



Rys. 4.27. Schemat członu wykonawczego regulatora współpracującego z alternatorem:
 U_A – napięcie alternatora, I_f – prąd w obwodzie wzbudzenia, $T1$ – tranzystor członu wykonawczego

W regulatorze wibracyjnym procesem zwarcia i rozwarcia styków steruje sprężyna (o stałej wartości siły naciągu) i uzwojenie napięciowe elektromagnesu wytwarzające siłę zależną od wartości napięcia na zaciskach alternatora. Siła naciągu sprężyny w stanie beznapięciowym regulatora powoduje zwarcie styków, a kierunek jej działania jest przeciwny do kierunku działania siły wytworzonej przez uzwojenie napięciowe.

W regulatorze elektronicznym pracą tranzystora członu wykonawczego sterują elementy elektroniczne wchodzące w skład członu wzmacniającego i członu sterującego regulatora. **Członem wzmacniającym** nazywa się tę część regulatora (rys. 4.28), która powoduje wzmocnienie sygnału sterującego (prądu otrzymanego z członu pomiarowego) do takiej wartości, która jest konieczna do wysterowania członu wykonawczego, tzn. do spowodowania przepływu odpowiedniego prądu wzbudzenia. Wartość minimalna prądu sterującego, na który reaguje regulator (tzn. sygnał wejściowy) jest różnicą między wartością regulowaną i zadaną. Wartością re-

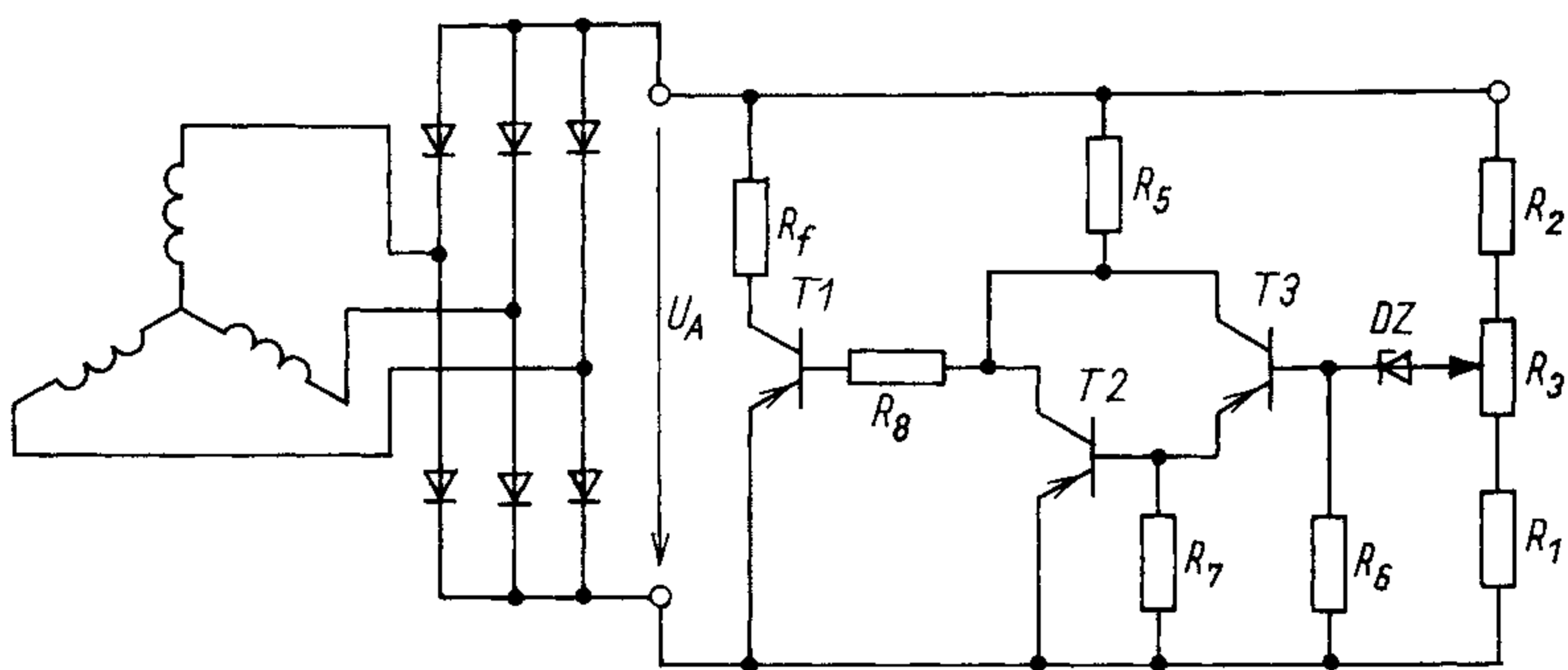


Rys. 4.28. Schemat członu wykonawczego i wzmacniającego regulatora współpracującego z alternatorem: $T1$ – tranzystor członu wykonawczego; $T2$ – tranzystor sterowany; $T3$ – tranzystor sterujący; R_5, R_6, R_7, R_8 – rezystancje dopasowujące elementy układu

regulowaną jest napięcie regulatora, a wartością zadaną jest żądany poziom tego napięcia określony warunkami wstępnymi. Aby sygnał wejściowy spowodował występowanie tranzystora członu wykonawczego należy go wzmocnić. W celu spełnienia tego warunku najczęściej stosuje się wzmacniacz w układzie Darlingtona.

Układ Darlingtona to taki układ, w którym emiter tranzystora sterującego $T3$ jest połączony bezpośrednio z bazą tranzystora sterowanego $T2$ (rys. 4.29), a kolektory obu tranzystorów są połączone i pracują na wspólne obciążenie. Baza tranzystora sterującego $T3$ stanowi wejście układu wzmacniającego.

Członem pomiarowym (rys. 4.29) określono tę część regulatora, która służy do porównania wartości zadanej napięcia z wartością regulowaną. Jako wartość zadaną rozumie się napięcie Zenera, wartością regulowaną jest napięcie na zaciskach alternatora.



Rys. 4.29. Schemat członu wykonawczego, wzmacniającego i pomiarowego regulatora współpracującego z alternatorem:

DZ – dioda Zenera; R_1, R_2 – rezystory dzielnika napięcia; R_3 – potencjometr dzielnika napięcia

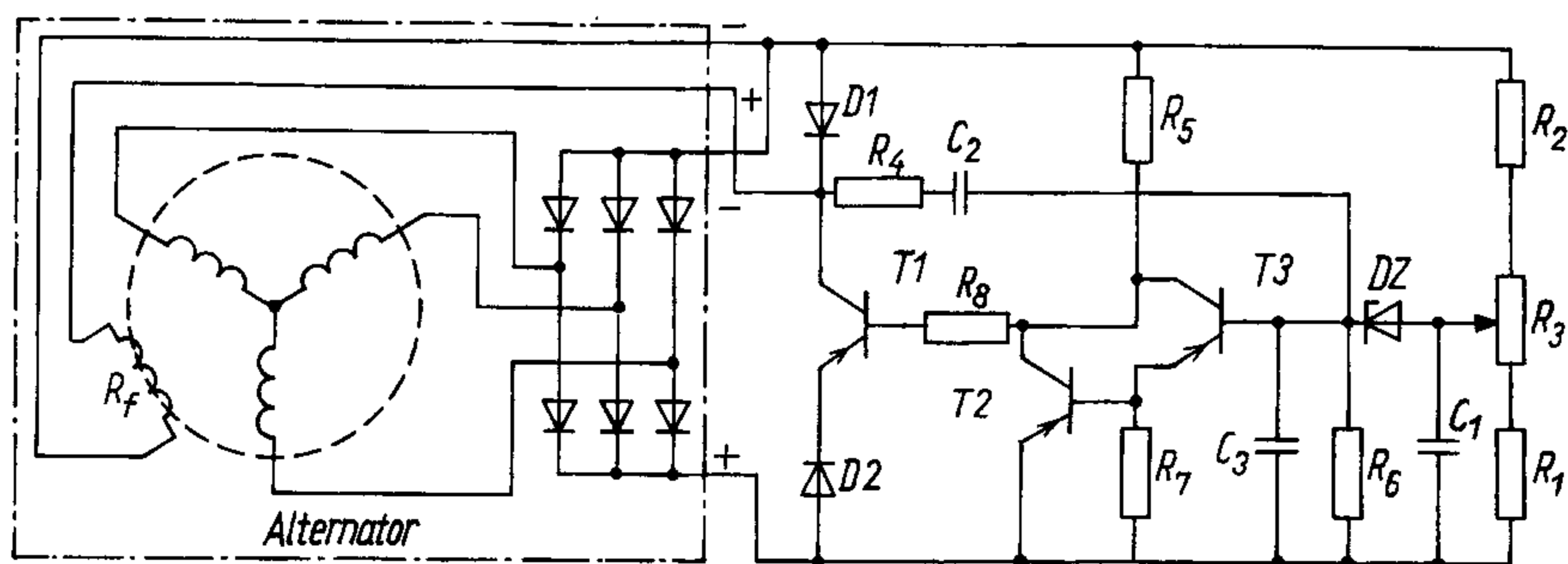
Do nastawienia dowolnej części napięcia regulowanego zastosowano dzielnik napięcia (rezystory R_1, R_2 i R_3). Sygnał wyjściowy z członu pomiarowego jest czynnikiem pobudzającym do działania regulator, przy czym proces współdziałania tego członu z pozostałymi jest następujący. W przypadku zwiększenia prędkości obrotowej alternatora od zera do pewnej wartości, na

zaciskach wyjściowych pojawia się napięcie zgodnie z procesem wzbudzenia maszyny. Część tego napięcia – określona położeniem suwaka potencjometru R_3 – jest porównywana z napięciem progowym diody Zenera.

Prąd wzbudzenia alternatora płynie w obwodzie, w którym znajduje się tranzystor T_1 członu wykonawczego, a wartość tego prądu jest określona wartością napięcia regulowanego i rezystancji obwodu. W tym okresie tranzystor T_1 znajduje się w *stanie nasycenia*, natomiast tranzystory T_2 i T_3 członu wzmacniającego są w *stanie odcięcia* i prąd przez nie nie płynie. Ten stan pracy regulatora trwa do chwili zrównania się napięcia na potencjometrze R_3 z napięciem Zenera. Dalszy wzrost napięcia na zaciskach alternatora powoduje przepływ prądu przez diodę Zenera, a tym samym przejście tranzystorów T_2 i T_3 członu wzmacniającego w *stan nasycenia*, a tranzystora T_1 w *stan odcięcia*. Od tej chwili następuje zanik prądu w obwodzie wzbudzenia, a to z kolei spowoduje obniżenie wartości napięcia na zaciskach alternatora. Proces ten będzie trwać do chwili zrównania się napięcia na potencjometrze z napięciem Zenera. Wówczas tranzystory członu wzmacniającego przejdą w *stan odcięcia*, a tranzystor członu wykonawczego w *stan nasycenia*. Tak więc napięcie alternatora oscyluje wokół średniej wartości nastawionej za pomocą potencjometru R_3 .

Na rysunku 4.30 przedstawiono schemat niewibracyjnego regulatora napięcia współpracującego z alternatorem. Na schemacie tym zaznaczono również elementy dodatkowe, stanowiące:

- ochronę członu wykonawczego przed przepięciami komutacyjnymi (element D_1),
- ujemne sprzężenie zwrotne członu wykonawczego (element D_2),
- układ przyspieszający pracę regulatora (elementy R_4 i C_2).



Rys. 4.30. Schemat niewibracyjnego regulatora napięcia współpracującego z alternatorem

Analizując istniejące konstrukcje regulatorów elektronicznych można stwierdzić, że niemal wszystkie rozwiązania – począwszy od pierwszych z lat pięćdziesiątych aż po najnowsze wykonania – stosują zasadę impulsowej regulacji prądu wzbudzenia. Elementem członu wykonawczego regulującym prąd w obwodzie wzbudzenia jest tranzystor lub para tranzystorów pracujących w układzie Darlingtona. W układzie regulatora można wyróżnić dwa charakterystyczne bloki funkcjonalne: **blok wykonawczy** oraz **blok sterujący** (stanowiący opisane w analizowanym regulatorze niewibracyj-

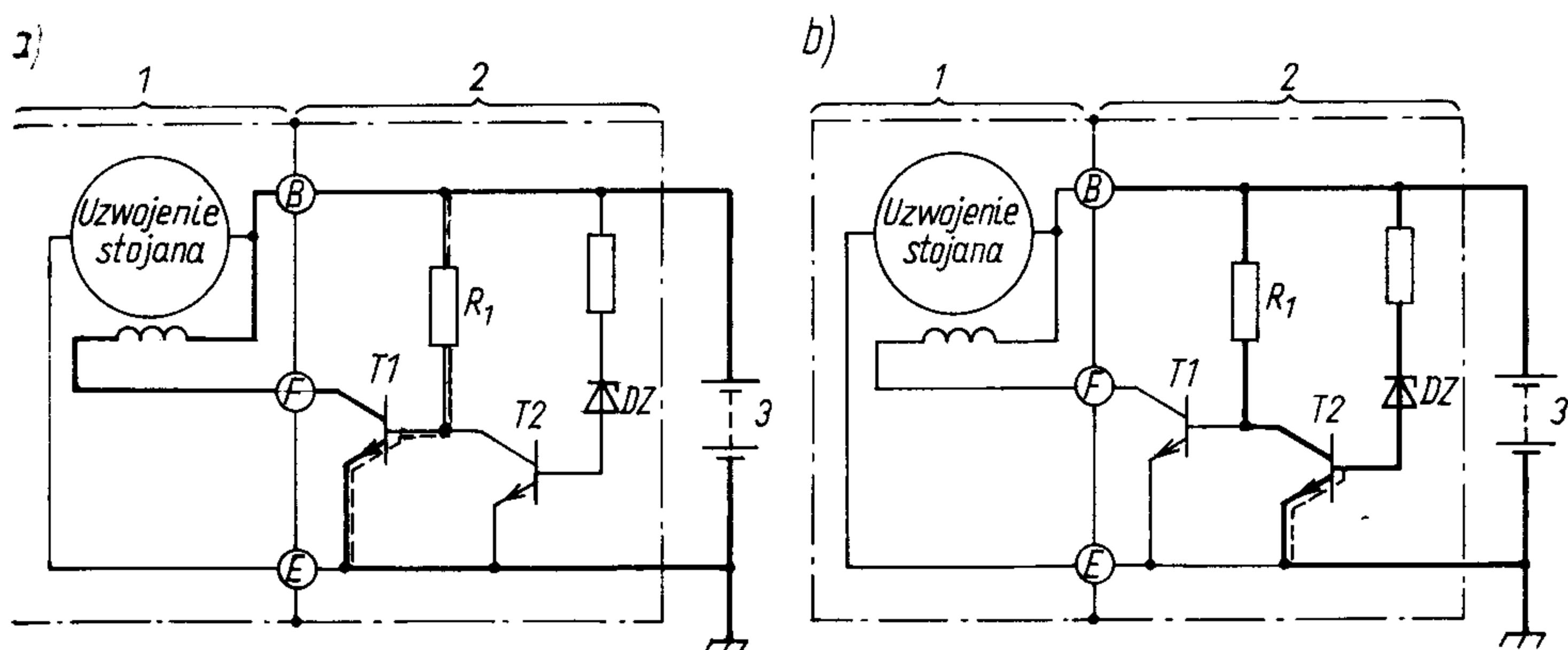
nym człony – wzmacniający i pomiarowy). Bloki te są połączone dodatkowo ze sobą pętlą sprzężenia zwrotnego z elementami R , C . Zadaniem pętli sprzężenia jest zwiększenie szybkości przełączania, ograniczenie maksymalnej częstotliwości pracy oraz zmniejszenie wrażliwości na zakłócenia.

Tak duża liczba cech wspólnych oraz tendencja do stosowania rozwiązań najprostszych w celu zwiększenia niezawodności doprowadziły do tego, że poszczególne rozwiązania regulatorów różnią się tylko nieznacznie.

4.7.5. Budowa i działanie wybranego regulatora elektronicznego

Opisany poniżej regulator elektroniczny jest w praktyce stosowany do alternatorów w samochodach firmy *Toyota* i jest oznaczony symbolem IC. Układ regulatora typu IC – stanowiący obwód scalony – jest zminiaturyzowanym układem elektronicznym zawierającym elementy półprzewodnikowe (tranzystor, diody itp.). Elementy są montowane na płycie drukowanej i są zatopione w masie silikonowej. Regulator ten charakteryzuje się dokładniejszą regulacją napięcia przy krótszych czasach reakcji układu (w porównaniu z regulatorami wibracyjnymi). Schemat elektryczny regulatora przedstawiono na rys. 4.31.

Zasada działania regulatora jest następująca. Jeżeli napięcie na zaciskach alternatora ma wartość mniejszą od napięcia regulowanego, to – zgodnie ze schematem na rys. 4.31a – napięcie akumulatora zasilające poprzez rezystor R_1 bazę tranzystora $T1$ (w odniesieniu do masy) powoduje przepływ prądu w obwodzie bazy tranzystora, włączając tranzystor (*stan nasycenia*) do pracy. Prąd płynie w obwodzie: zacisk dodatni akumulatora, rezystor R_1 , złącze baza-emiter tranzystora $T1$ do masy. Jednocześnie prąd płynie przez uzwojenie wzbudzenia alternatora, złącze kolektor-emiter tranzystora $T1$ do masy. Wzrasta napięcie na zaciskach alternatora. Jeżeli napięcie to wzrośnie powyżej wartości napięcia regulowanego, to przez diodę Zenera DZ popłynie prąd, powodując jednocześnie przepływ prądu

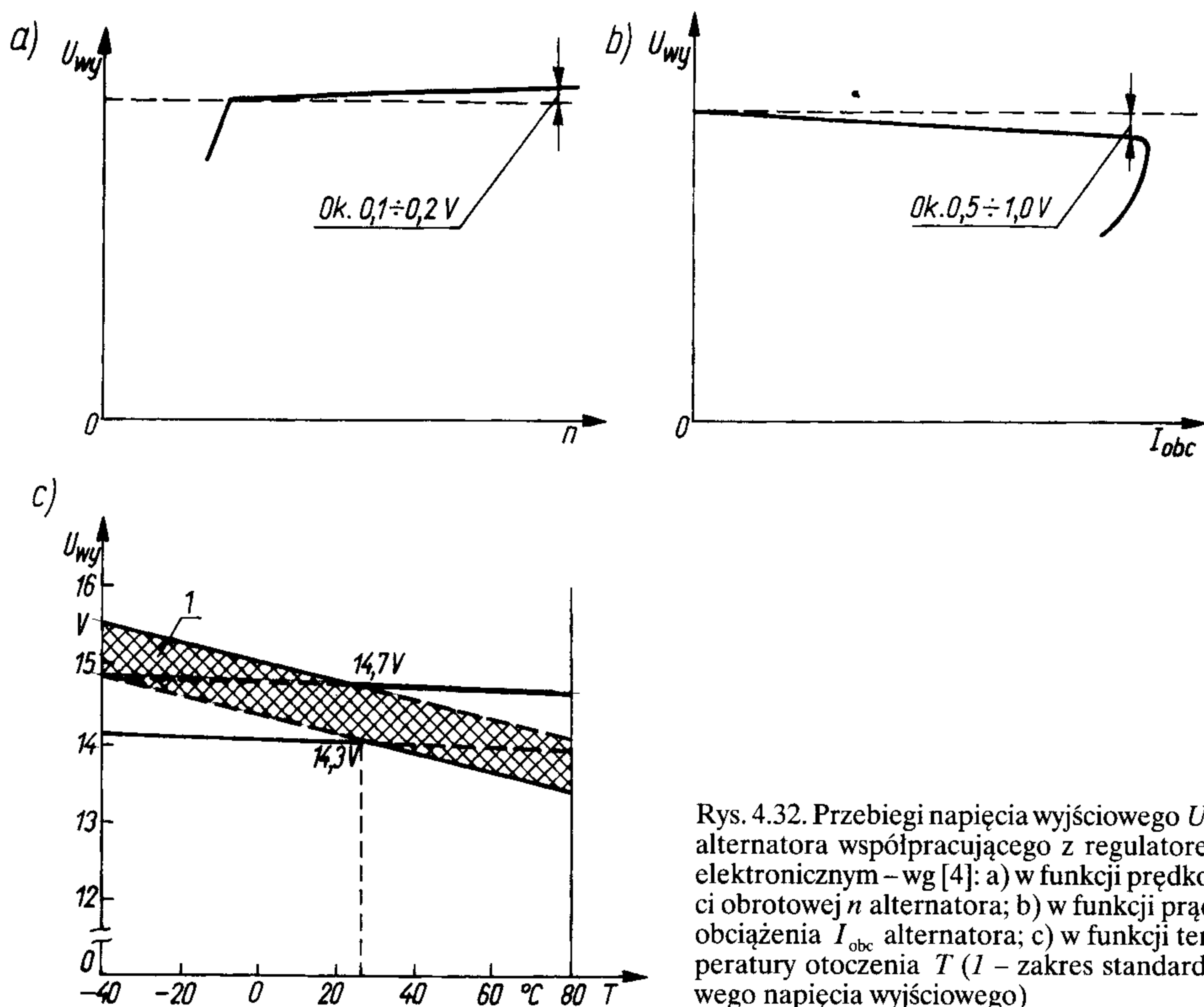


Rys. 4.31. Schemat elektronicznego regulatora napięcia połączonego z alternatorem – wg [4]: a) tranzystor $T1$ przewodzi; b) tranzystor $T2$ przewodzi

1 – alternator, 2 – regulator napięcia, B, F, E – zaciski alternatora, 3 – akumulator

w obwodzie bazy tranzystora T_2 . Jest to równoznaczne z odcięciem tranzystora T_1 i wejściem w stan nasycenia (przewodzenia) tranzystora T_2 . Przepływ prądu przez uzwojenie wzbudzenia alternatora zostaje przerywany, napięcie na zaciskach alternatora maleje (rys. 4.31b).

Prąd płynie w obwodzie: zacisk dodatni alternatora (B), dioda Zenera DZ , złącze baza-emiter tranzystora T_2 do masy. Jednocześnie prąd płynie w obwodzie: rezystor R_1 , złącze kolektor-emiter tranzystora T_2 do masy.



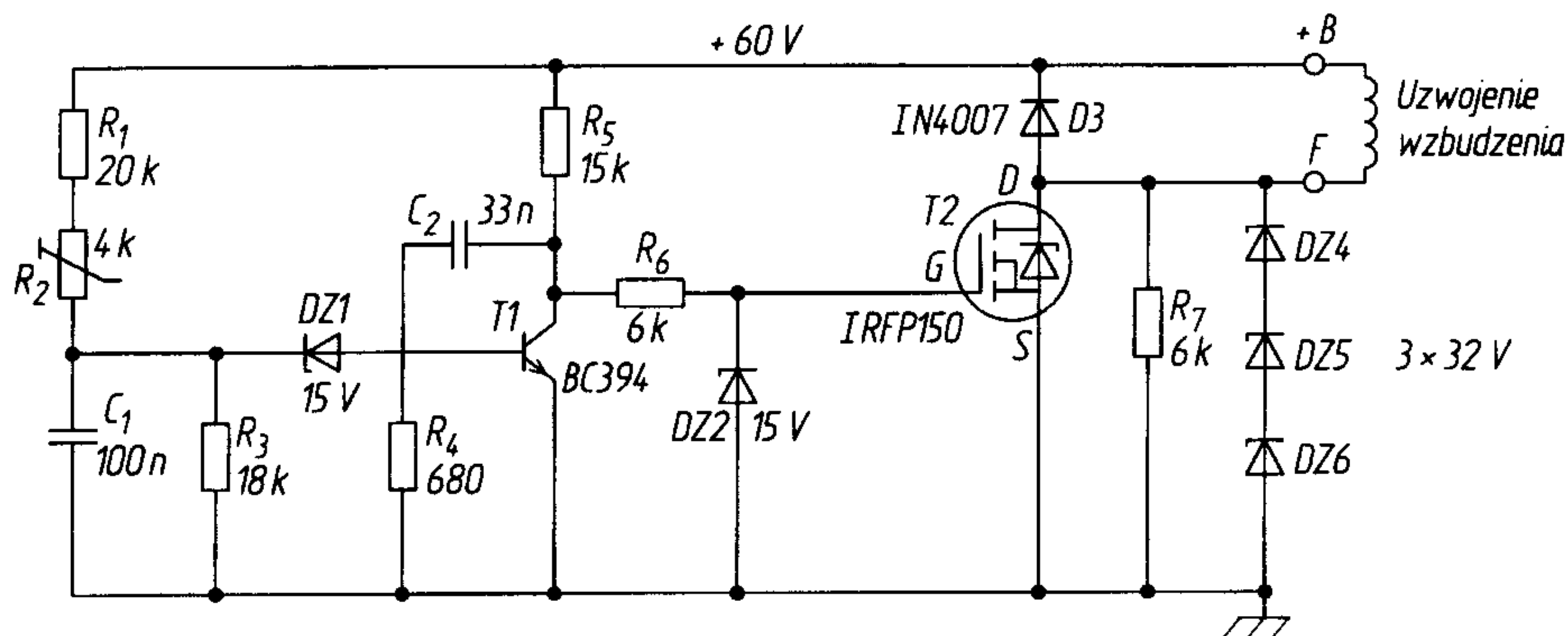
Rys. 4.32. Przebiegi napięcia wyjściowego U_{wy} alternatora współpracującego z regulatorem elektronicznym – wg [4]: a) w funkcji prędkości obrotowej n alternatora; b) w funkcji prądu obciążenia I_{obc} alternatora; c) w funkcji temperatury otoczenia T (1 – zakres standardowego napięcia wyjściowego)

Jak wynika z zasady działania regulatora, impulsowa regulacja napięcia polega na włączaniu i wyłączaniu tranzystorów T_1 i T_2 , co w praktyce sprowadza się do włączania i wyłączania prądu płynącego w obwodzie wzbudzenia alternatora. Na rysunku 4.32 przedstawiono przebiegi napięcia wyjściowego alternatora współpracującego z regulatorem elektronicznym typu IC.

4.8. Elektroniczny regulator napięcia 60 V

Konwencjonalna praca alternatora w samochodzie wymaga utrzymania na jego zaciskach wyjściowych napięcia ok. 14 V. Alternator pracujący w warunkach kontrolowanego przeciążenia uzyskuje różne wartości mocy w zależności od napięcia na zaciskach wyjściowych i uzyskiwanych prędkości obrotowych.

Na rysunku 4.33 przedstawiono schemat regulatora utrzymującego na zaciskach alternatora napięcie ok. 60 V i umożliwiającego uzyskanie określonego przeciążenia. Układ regulatora ma człon pomiarowy składający się z rezystorów R_1 , R_2 i R_3 . Wartość napięcia, która powoduje przewodzenie diody Zenera $DZ1$ zależy głównie od ilorazu rezystancji $(R_1 + R_2)/R_3$. Na wartość tę ma wpływ również impedancja gałęzi zawierającej kondensator C_1 . Po osiągnięciu określonej wartości napięcia na zacisku $+B$ (w odniesieniu do masy) przewodzi dioda Zenera $DZ1$, powodując pełne wystawienie tranzystora $T1$. Przewodzenie tranzystora $T1$ powoduje pojawienie się niskiego (ujemnego) potencjału na bramce G tranzystora polowego $T2$, wskutek czego tranzystor $T1$ przestaje przewodzić.



Rys. 4.33. Schemat elektronicznego regulatora napięcia alternatora utrzymującego na zaciskach wyjściowych maszyny napięcie ok. 60 V

Przestaje płynąć prąd w obwodzie wzbudzenia alternatora. Dioda prostownicza $D3$ jest elementem tłumiącym przepięcia powstające na skutek zaniku prądu w obwodzie wzbudzenia. Rezystor R_7 , którego rezystancja jest większa od rezystancji uzwojenia wzbudzenia R_f (czyli $R_7 > R_f$) powoduje, że przez obwód wzbudzenia płynie prąd o stałej minimalnej wartości. Tego typu połączenia powodują, że w obwodzie wzbudzenia nie zanika całkowicie przepływ prądu (prąd nie osiąga wartości równej zero), nie ma więc dodatkowych przepięć w obwodzie wzbudzenia. Zacisk F regulatora jest dodatkowo chroniony od przepięć o wartościach większych niż 96 V, przez przyłączenie do niego diod Zenera $DZ4$, $DZ5$ i $DZ6$. W obwodzie bramki G tranzystora $T2$ jest włączona dioda Zenera $DZ2$, ograniczająca napięcie występujące między bramką i źródłem (masą) tranzystora $T2$ do wartości ok. 15 V ($U_{\max} = 20$ V). Rezystory R_5 i R_6 ograniczają prąd w obwodzie bramki tranzystora $T2$ do wartości dopuszczalnej. Gdy napięcie na zacisku $+B$ (w stosunku do masy) osiągnie małą wartość, wówczas tranzystor $T1$ przestanie przewodzić (jest w stanie nieprzewodzenia). Baza tranzystora $T1$ jest – poprzez rezystor R_4 – spolaryzowana ujemnie. Tranzystor $T2$ jest wówczas w pełni wystawiony (w stanie przewodzenia) przez rezystory R_5 , R_6 i w obwodzie alternatora płynie prąd. Układ regulatora jest zasilany z zacisku $+B$ alternatora.

4.9. Badania diagnostyczne regulatorów napięcia alternatorów

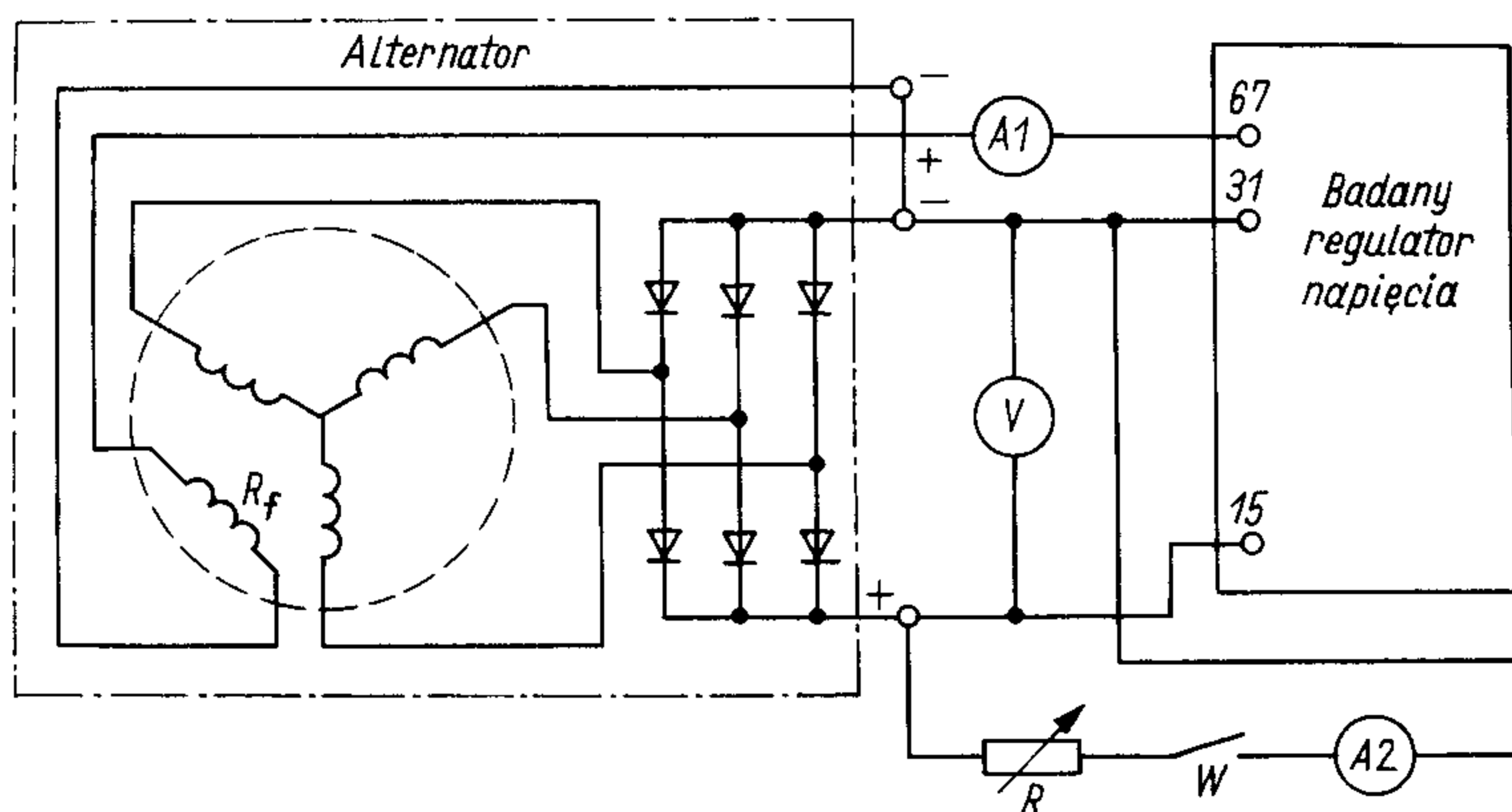
4.9.1. Zakres pomiarów

Badania i pomiary dotyczą **wibracyjnego dwustopniowego regulatora napięcia** oraz **niewibracyjnych elektronicznych regulatorów napięcia**. W trakcie badań należy wykonać:

- charakterystyki $U = f(n)$ pracy układu w stanie jałowym i przy obciążeniu,
- charakterystyki $I_f = f(n)$ pracy układu w stanie jałowym i przy obciążeniu,
- charakterystyki regulacji $U = f(I_{obc})$ przy $n = \text{const}$.

4.9.2. Stanowisko badawcze

Na rysunku 4.34 przedstawiono schemat alternatora z badanym regulatorem napięcia alternatora. Napęd alternatora może być wykonany np. w układzie zestawu ze sterownikiem częstotliwości, silnikiem indukcyjnym i specjalną przekładnią mechaniczną.



Rys. 4.34. Schemat alternatora współpracującego z regulatorem napięcia:
 $A1$, $A2$, V – amperomierze i woltomierz magnetoelektryczne; W – wyłącznik w obwodzie obciążenia; R – rezystancja obciążenia

4.9.3. Wykonanie badań

Pomiar charakterystyk $U = f(n)$ oraz $I_f = f(n)$ pracy układu w stanie jałowym i przy obciążeniu dokonuje się zgodnie z rys. 4.34, przedstawiającym schemat połączeń alternatora z badanym regulatorem napięcia.

Przy wyznaczaniu charakterystyki pracy układu w **stanie jałowym**, wyłącznik W w obwodzie obciążenia jest otwarty. *Po uruchomieniu stanowiska badawczego należy stopniowo zwiększać prędkość obrotową alternatora, do chwili uzyskania*

maksymalnej dopuszczalnej wartości prądu wzbudzenia. Jest to pierwszy punkt pomiarów. Jednocześnie odczytuje się napięcie na zaciskach alternatora, odpowiadające maksymalnej wartości prądu wzbudzenia. Dalsze pomiary wykonuje się, zwiększając stopniowo prędkość obrotową alternatora w całym zakresie jego dopuszczalnych prędkości obrotowych i notując jednocześnie wartości prądu wzbudzenia oraz napięcia regulowanego.

Sposób wykonywania pomiarów przy pracy układu **pod obciążeniem** (wyłącznik W zamknięty) jest podobny, z tym że pierwszy punkt pomiaru otrzymuje się przy takiej prędkości obrotowej, przy której dla założonej wartości prądu obciążenia (regulacja rezystorem R) uzyskuje się maksymalną dopuszczalną wartość prądu wzbudzenia.

Wyznaczenie charakterystyki regulacji $U = f(I_{\text{obc}})$ dla $n = \text{const}$ wykonuje się w układzie, którego schemat przedstawiono na rys. 4.34. Wykonanie badań napięcia w stanie jałowym układu alternator-regulator (wyłącznik W otwarty) należy rozpocząć od zwiększenia prędkości obrotowej wirnika alternatora, aż do uzyskania prędkości obrotowej np. $n = 5000$ obr/min. W tym stanie pracy należy odnotować wartość napięcia regulowanego. Jest to pierwszy punkt pomiaru. Prędkość obrotowa, przy której określa się charakterystykę, powinna być co najmniej równa znamionowej prędkości obrotowej alternatora. Zamykając wyłącznik W włącza się obciążenie alternatora, które należy regulować rezystorem R od wartości minimalnej do znamionowej, notując dla odpowiednich wartości prądu, napięcie utrzymywane przez regulator.

Pytania kontrolne

1. Dlaczego prądnice prądu stałego nie odpowiadają potrzebom eksploatacji samochodów?
2. Omów budowę i zasadę działania alternatora samochodowego.
3. Wymień zalety alternatora w porównaniu z prądnicą prądu stałego.
4. Jakie znasz podstawowe charakterystyki eksploatacyjne alternatorów samochodowych?
5. Porównaj budowę i zasadę działania alternatorów: kompaktowego i klasycznego.
6. Omów pracę alternatora w warunkach kontrolowanego przeciążenia.
7. Omów budowę i zasadę działania wibracyjnych regulatorów napięcia alternatorów.
8. Jak jest zbudowany i na jakiej zasadzie działa elektroniczny regulator napięcia alternatora?
9. Omów budowę i działanie wybranego elektronicznego regulatora napięcia alternatora.
10. Omów budowę i zasadę działania elektronicznego regulatora napięcia alternatora na napięcie 60 V.
11. Podaj znane Ci sposoby badań diagnostycznych alternatorów i ich regulatorów napięcia.