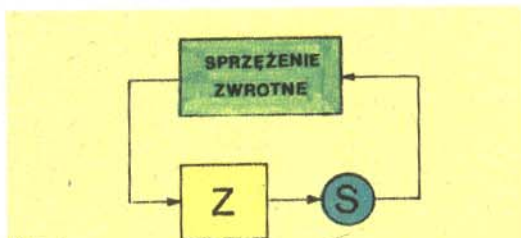


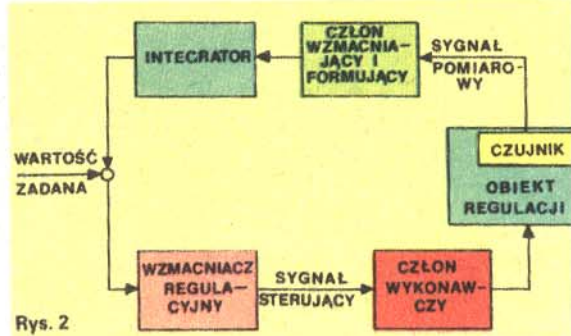
ELEKTRONICZNA REGULACJA OBROTÓW SILNIKA GRAMOFONOWEGO

Gramofony z talerzem umieszczonym bezpośrednio na osi silnika są już dość powszechnie znane. Zalety tego rodzaju napędu są niewątpliwe: cicha mechaniczna praca, drgania własne poniżej pasma akustycznego, a więc niesłyszalne w głośnikach, duża stabilność i równomierność obrotów, uniezależnienie od wahań napięcia sieciowego. Najczęściej źródłem napędu są silniki bezkomutatorowe prądu stałego o specjalnej konstrukcji (tzw. direct-drive) z czujnikami hallotronowymi, umożliwiającymi elektroniczną regulację i stabilizację obrotów z bardzo dużą dokładnością. Bywają również stosowane silniki prądu zmiennego, mające w rozbudowanym układzie elektronicznej regulacji specjalny, stabilizowany kwarem generator zasilający.

Jak łatwo się domyślić, wszystkie te „cuda” techniki są poza zasięgiem realnych możliwości wykonawczych majsterkowicza czy radioamatora. Po przeanalizowaniu zasady działania podstawowego układu regulatora okaże się jednak, że można „zmusić” do pracy z dowolną prędkością także zwykły, asynchroniczny silnik prądu zmiennego. W uproszczeniu będzie to układ składający się z zasilacza Z i silnika S, połączonych odpowiednim sprzężeniem zwrotnym (rys. 1). Wykonując proste doświadczenie z użyciem autotransformatora jako

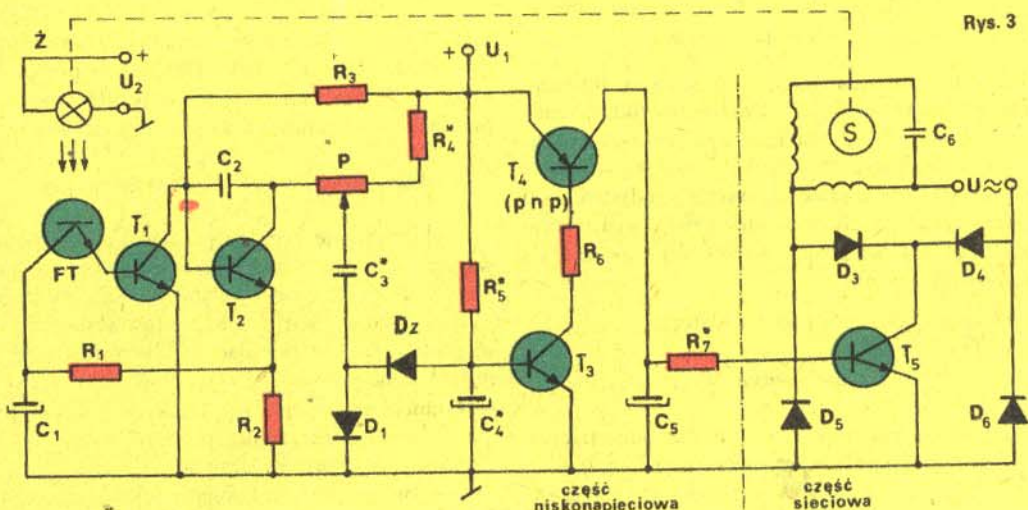


Rys. 1

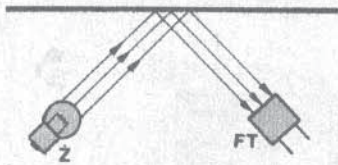


Rys. 2

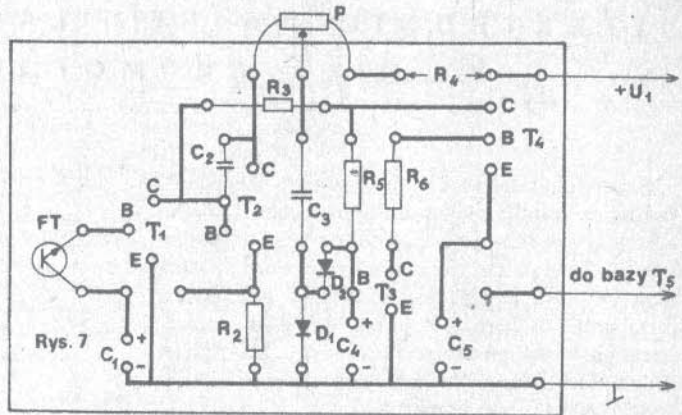
zasilacza i reki jako... sprzężenia zwrotnego, można zauważyć, że po obniżeniu nominalnego napięcia zasilającego możliwe jest uzyskanie niskich obrotów obciążonego silnika, jeśli straty na hamowanie wy-



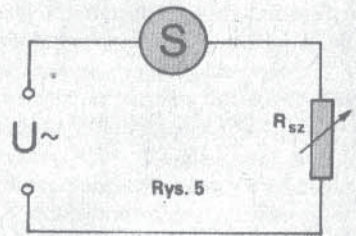
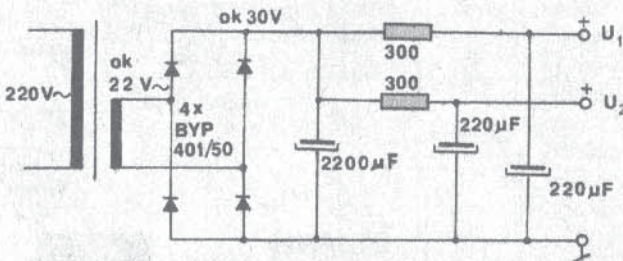
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 6



równuje się proporcjonalnym podwyższeniem napięcia. Należy więc zaprojektować układ, który będzie samoczynnie kompensował odchylenia od prędkości zadanej, a więc regulator, który powinien mierzyć stale wartość wielkości regulowanej, porównywać ją z wartością zadana, a przy wystąpieniu różnic wpływać na człon wykonawczy tak, aby ta różnica została sprowadzona do zera.

Zasadę działania takiego regulatora ilustruje schemat blokowy (rys. 2). Praktyczny układ, realizujący powyższe założenia, przedstawiony jest natomiast na schemacie ideowym (rys. 3). Jego zastosowanie jest uniwersalne. Dobierając odpowiednio wartości niektórych elementów, można rozwiązać inaczej pomiar wielkości regulowanej oraz zastosować dowolny silnik.

A oto omówienie układu regulatora.

Sygnal pomiarowy

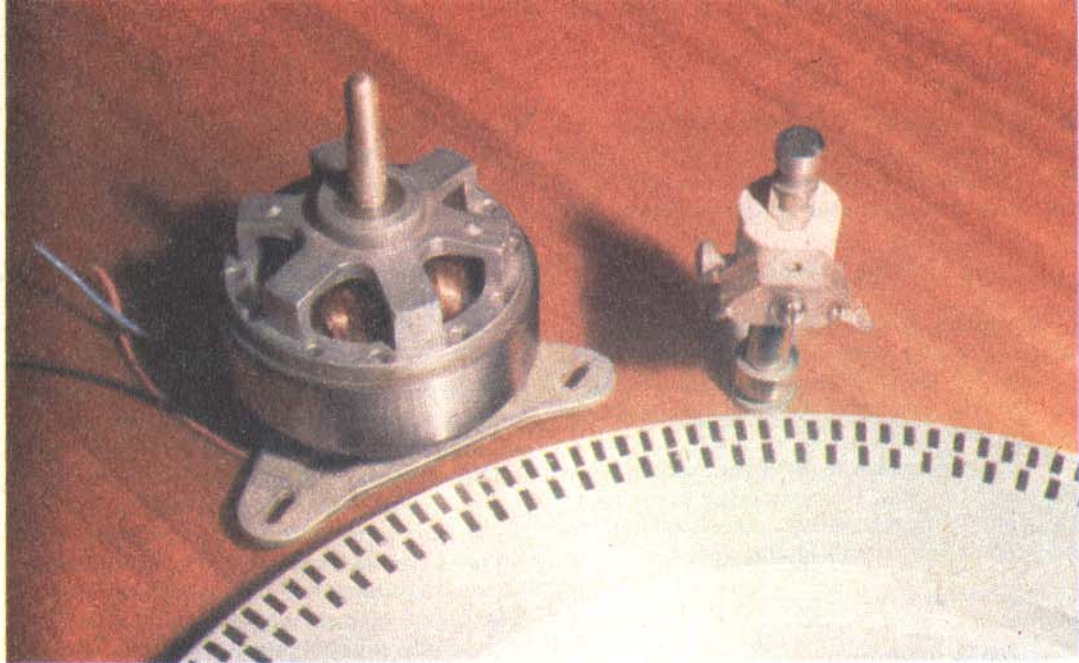
W proponowanym układzie, na obwodzie talerza gramofonowego zostały naniesione paski stroboskopowe. Gdy są one oświetlone neonówką, można je kontrolować wzrokowo i w ten sposób oceniać stabilność obrotów talerza. Nieruchomy pozorny

obraz pasków oznacza idealne spełnienie założonych warunków. Oświetlenie pasków żarówką Z (zasilaną prądem stałym), umożliwia zebranie za pomocą fototranzystora FT impulsów światła odbitego (rys. 4), z których po wzmocnieniu (tranzystor T1) i uformowaniu (T2) otrzymuje się impulsy napięcia o kształcie prostokątnym, stałej amplitudzie i częstotliwości proporcjonalnej do liczby obrotów silnika. Dla przykładu: 180 pasków przy prędkości 33 1/3 obr./min. daje impulsy odpowiadające przebiegowi zmiennemu o częstotliwości 100 Hz.

Integrator i wzmacniacz regulacyjny

Wykorzystanie sygnału pomiarowego, uformowanego w postać prostokątnego napięcia o stałej amplitudzie, ale o niestandardowej szerokości impulsu, możliwe jest dzięki zastosowaniu układu integratora na tzw. pompach diodowych. Układ ten tworzą kondensatory C3 i C4, diody D1 i D2 oraz rezystancja wewnętrzna R_{BE} tranzystora T3. Napięcie wyjściowe integratora proporcjonalne jest do częstotliwości obrotów silnika.

Gdy brak impulsów ładujących kondensator C3, rezystor R5 polaryzuje dodatnio bazę tranzystora T3, powodując jego całkowite odblokowanie. W na-



Silnik, element odczytujący impulsy i fragment talerza z naniesionymi paskami stroboskopowymi

stepstwie tego będzie przewodził tranzystor wzmacniacza regulacyjnego T4, podając sygnał sterujący do członu wykonawczego.

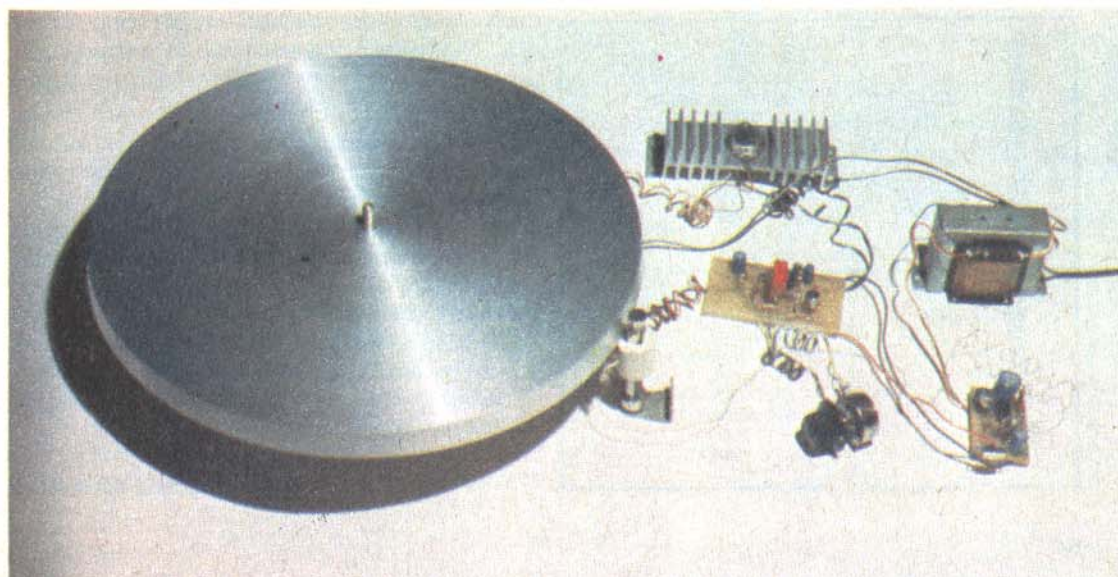
Pojawiający się impuls napięcia prostokątnego ładuje kondensator C_3 (element próbkujący), po czym, w przerwie między impulsami, C_3 rozładowuje się poprzez przewodzący w tym czasie tranzystor T2 i rezystor R_2 , a cały ładunek jest akumulowany w kondensatorze C_4 , mającym znacznie większą pojemność niż C_3 . W takt przychodzących impulsów, na C_4 – rozładowywanym przez R_{BE} i doładowywanym przez C_3 – narasta napięcie, będące

w przybliżeniu liniową funkcją częstotliwości powtarzania cyklu.

Zadaniem diod D1 i D2 jest uniemożliwienie rozładowania kondensatorów C_3 i C_4 w innym, niż przewidziany, obwodzie.

Jeżeli wystąpi różnica między wyjściowym napięciem integratora i napięciem polaryzującym poprzez rezystor R_5 bazę T3, tranzystor ten zmieni odpowiednio swój stan przewodzenia. Inaczej mówiąc, w wyniku porównania na bazie T3 wielkości mierzonej z wartością zadaną, powstaje uchyb regulacji, wpływający poprzez wzmacniacz regulacyjny

Układ montażowy regulatora obrotów talerza gramofonu



na człon wykonawczy w sposób, który ma zmniejszyć do możliwego minimum. Jeżeli uchyb jest mały, zmiana na wyjściu regulatora nastąpi łagodnie, jeżeli duży, to zmiana nastąpi gwałtownie.

Człon wykonawczy

Elementem wykonawczym jest tranzystor T5, włączony między dodatni i ujemny biegun mostka Graetza (D3–D6), i tworzący wraz z nim regulowaną oporność szeregową dla silnika S, zasilanego prądem zmiennym (rys. 5).

Prądy, odpowiadające dodatnim i ujemnym półokmom sinusoidy, i przepływające przez zespół elementu wykonawczego, osiągają wartość zależną od poziomu wysterowania tranzystora T5.

Uruchomienie układu

Regulator ten, będąc z założenia układem uniwersalnym, wymaga dość dużej uwagi i dokładności w ustalaniu optymalnych warunków pracy. Nie oznacza to jednak, że układ nie jest powtarzalny. Po zastosowaniu takiego, jak w opisanym regulatorze, silnika, talerza i stroboskopu – układ będzie można uruchomić bez żadnych kłopotów.

A więc: silnik od magnetofonu TESLA B-4 (2700 obr/min, napięcie zasilania 127 V~, kondensator fazy rozruchowej 4 μ F), talerz gramofonowy o średnicy 30 cm i masie 2,3 kg, mający na skraju obwodu zaznaczonych 180 czarnych pasków na przemian z białymi. W przypadku zastosowania innego silnika, talerza lub fototranzystora, elementy, oznaczone na schemacie ideowym gwiazdką, należy odpowiednio dobrać.

Spis elementów:

T1–T3	– BC 107 (BC 108, BF 519)
T4	– BC 313 (BC 160, BC 177)
T5	– BDY 25 (2N 3055)
C1	– 47 μ F/10 V
C2	– 1 nF
C3	– 0,33 μ F
C4	– 4,7 μ F/10 V
C5	– 10 μ F/25 V
C6	– 4 μ F/250 V
R1	– 12 k Ω
R2	– 180 Ω
R3	– 47 k Ω
R4	– 2 k Ω
R5	– 39 k Ω
R6	– 10 k Ω
R7	– 1 k Ω
P	– 100 Ω
D1, D2	– BAVP 19 (BAAVP 21)
D3–D6	– BYP 401–400 (1 N 4004)
FT	– BPYP 21
Z	– 12 V \sim 50 mA

Zmieniając wartość rezystora R4, można regulować stosunek szerokości impulsu napięcia prostokątnego do przerwy między impulsami (optymalne – 1:1). W tym wypadku bardzo przydatny byłby oscyloskop.

Pojemność kondensatora C3 uzależniona jest w pewnych granicach od wartości R4, gdyż stała czasowa C3R3 stanowi o tym, czy C3 zdąży naładować się do pełnej wartości napięcia impulsu.

Regulując wartość rezystora R5 można zmieniać próg czułości tranzystora T3, a tym samym napięcie odniesienia.

Stała czasowa C4 RBE decyduje o stopniu bezwładności układu. Podobną rolę spełniają elementy C5, R7, przy czym zwiększanie rezystancji R7 wpływa na zmianę charakteru pracy regulatora z płynnej na bardziej impulsową. Można to zaobserwować, włączając woltomierz między bazę T5 i masę (biegun ujemny zasilania) lub między emiter i kolektor tego tranzystora. Tranzystor T5, z katalogowym napięciem U_{CE} = 120 V, pracuje wprawdzie znakomicie w tym układzie (nawet przy pełnym, sieciowym napięciu), należy jednak liczyć się z tym, że nie wszystkie egzemplarze mogą mieć tak dobre parametry. Wyjściem z trudnej sytuacji jest po prostu zasilanie układu niższym napięciem zmiennym, co wpłynie jedynie na zwiększenie czasu rozruchu silnika, podczas pracy układu bowiem napięcie między emiterem a kolektorem waha się w granicach zaledwie 15–25 V.

Do precyzyjnego wyregulowania obrotów silnika służy potencjometr P. Zmiana jego rezystancji już o kilka omów w jedną lub drugą stronę powoduje znaczną zmianę przyspieszenia lub opóźnienia obrotów silnika. W razie trudności z uzyskaniem właściwych obrotów, można oprócz regulacji za pomocą rezystora zmieniać wartość kondensatora C3. Szczególnie przydatne jest to wówczas, gdy chcemy właściwe obroty ustalić w środkowym położeniu suwaka potencjometru P.

Do przeprowadzenia prób układu przeznaczony jest prosty zasilacz, którego schemat ideowy przedstawiony jest na rys. 6.

W celu uniezależnienia układu od wahań napięcia sieci prądu zmiennego wskazane jest zastąpienie napięcia U₁ dobrym zasilaczem stabilizowanym, o napięciu 20–24 V.

Tranzystor mocy T5 należy umieścić na radiatorze o powierzchni nie mniejszej niż 100 cm².

Schemat montażowy połączeń części niskonapięciowej regulatora pokazano na rys. 7