

CO TO JEST POTENCJOMETR I DLACZEGO

Ze studenckich projektów wyłania się brak świadomości na temat tak prostego, wydawałoby się, elementu jakim jest potencjometr. Tymczasem ten element jest ciągle ważny i potrzebny w elektronice, warto więc umieć go używać.

Potencjometr to z punktu widzenia elektroniki regulowany element oporowy, zaś z punktu widzenia zwykłego użytkownika jest to element mechaniczny posiadający ośkę. Jeśli potencjometr został zamontowany w fabrycznym sprzęcie, to na ośce osadzona jest zwykle gałka sterująca z płyty czołowej jakiegoś urządzenia. Gałki czasem pękają, albo się gubią, wtedy z musu kręcimy wprost za ośkę. Wtedy mamy bezpośredni kontakt z potencjometrem...

Typowe zastosowanie potencjometru w sprzęcie powszechnego użytku to regulacja głośności, "basów" i "sopranów".

Najczęściej używamy zwykłych potencjometrów, takich, jak na rys.1 (widok ogólny) i rys.2 (napis od spodu). W oznaczeniach typowych potencjometrów polskiej produkcji stosuje się litery A i B. "A" oznacza potencjometr liniowy (o liniowej charakterystyce strojenia), natomiast "B" oznacza potencjometr "logarytmiczny", tj. dostosowany do właściwości ludzkiego słuchu – stosuje się go do regulacji głośności.

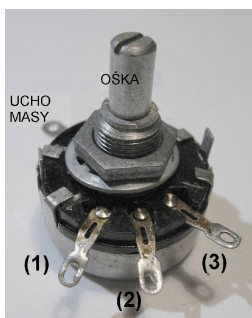
Uwaga: nie wszystkie firmy stosują takie oznaczenia, należy sprawdzać przyjęte zasady oznaczania poszczególnych producentów. W oznaczeniach producentów zachodnich najczęściej jest niestety odwrotnie: "A" to logarytmiczny, "B" to liniowy.

Potencjometr jest elementem o trzech końcówkach. "Prawdziwe" użycie potencjometru wymaga właśnie wykorzystania **wszystkich trzech nóg** (będziemy to dalej nazywać użyciem "trójkońcówkowym"). Co dziwne, właśnie takie użycie potencjometru – choć podstawowe – sprawia wielu osobom problem.

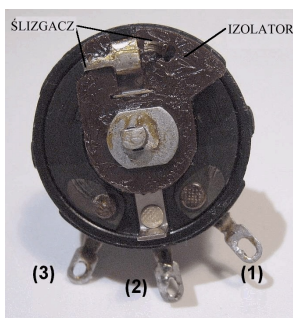
BUDOWA TYPOWEGO POTENCJOMETRU

Na rys. 3. pokazano potencjometr starszego typu. Ma on pewną "dydaktyczną" zaletę – jest duży (średnica obudowy to ok. 28mm), dzięki czemu łatwiej pokazać na zdjęciach jego budowę. Uwaga: na rys. 3 z tyłu z lewej strony widać dodatkowe oczko lutownicze (obecnie rzadkość): jest to zacisk służący podłączeniu metalowej obudowy potencjometru do masy układu, co poprawia odporność na zakłócenia.

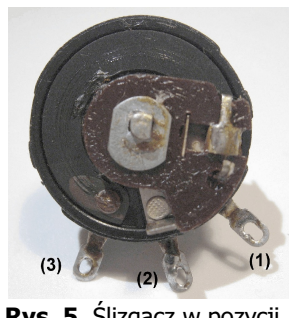
Praktycznie wszystkie współczesne potencjometry (oprócz wieloobrotowych) są właśnie tak skonstruowane, tylko mają mniejsze wymiary. Dodatkowe wyjaśnienie: w potencjometrach suwakowych (rys.14) ścieżka jest ułożona w linii prostej.



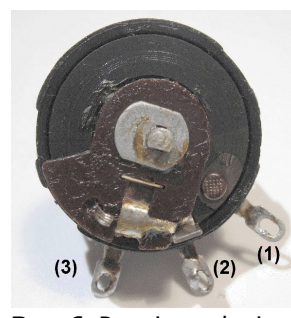
Rys. 3. Potencjometr starszego typu



Rys. 4. Budowa potencjometru

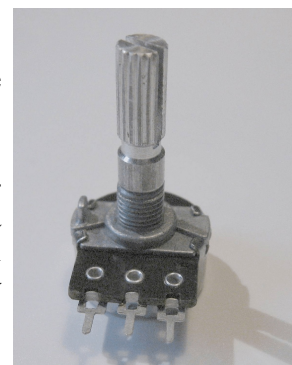


Rys. 5. Ślizgacz w pozycji skrajnej ("max")



Rys. 6. Przeciwna skrajna pozycja ("min")

Od spodu potencjometru (rys.4) widać między innymi ścieżkę oporową, dwa styki skrajne (1 i 3), a także styk ruchomy – tzw. "ślizgacz". W demonstrowanym egzemplarzu ślizgacz jest wykonany z kilku połączonych sprężynujących drutów. Ślizgacz jest przymocowany mechanicznie do płytki z izolatora (tę rolę pełni tu brązowy tekstolit), zaś elektrycznie jest połączony ze stykiem środkowym (2) potencjometru. Na rys.4. styk ruchomy jest



Rys. 1. Typowy potencjometr (polski)

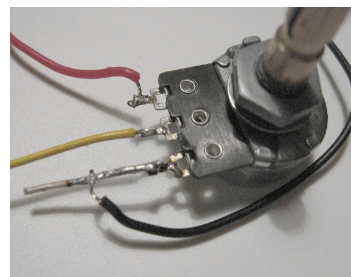


Rys. 2. Potencjometr 100kΩ liniowy

mniej więcej na środku ścieżki oporowej. Na rys.5. i 6. ślizgacz jest w pozycjach skrajnych – w tych pozycjach rezystancja pomiędzy ślizgaczem, a skrajnym stykiem (1 lub 3) spada do małych (zwykle pomijalnych) wartości. Na zdjęciach widać zresztą różnicę w kolorze ścieżki oporowej. Przy nitach łączących element oporowy z oczkiem lutowniczym ścieżka jest metaliczna (jaśniejsza), aby rezystancja między stykiem ruchomym a stykiem skrajnym była jak najmniejsza.

Typowy kąt obrotu osi potencjometru to ok. 270° , choć między wykonaniami bywają pewne różnice.

Dla porządku trzeba dodać, że na zdjęciach otwartego potencjometru widać smar, stosowany w potencjometrach starszych typów.



Rys. 7. Podłączenie potencjometru

SPOSÓB UŻYCIA POTENCJOMETRU

Potencjometru można używać na kilka różnych sposobów. Najważniejszy z nich, stwarzający akurat najczęściej trudności początkującym, to regulowany dzielnik potencjometryczny, czyli – można by powiedzieć – **“potencjometr właściwy”**. Najprościej można to sobie wyobrazić, kiedy potencjometr służy do regulacji napięcia (w przykładzie będzie to napięcie stałe) od zera do maksimum. Takie użycie wymaga rozsądnego podłączenia trzech nóżek elementu: do nóżki “max” podłączamy jakieś napięcie np. +9V z baterii, do nóżki “min” podłączamy masę (a więc przeciwny biegun baterii), a styk środkowy (ruchomy) jest wyjściem tego obwodu regulacji. Na rys.7. przedstawiono takie podłączenie: do górnego zacisku czerwonym przewodem podłączono plus baterii, żółty przewód to wyjście, czarny – ujemny przewód baterii (możemy go uznawać za masę). Na rysunkach 8, 9 i 10. na potencjometr założono gałkę, aby było lepiej widać w jakim położeniu jest osłona potencjometru.

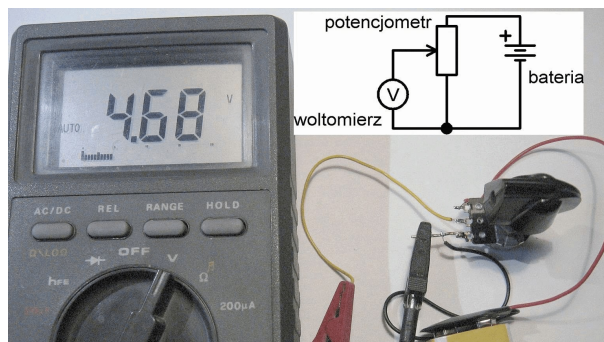
Na rys.8. osłona potencjometru ustawiono mniej więcej na środku kąta obrotu – takie też jest wskazanie miernika.

Aby uzyskać maksymalne napięcie na wyjściu potencjometru należy przekręcić osłonę do górnego skrajnego położenia, co pokazuje rys.9. (mała uwaga: napięcie przekracza 9V, bo bateria była dopiero co rozpakowana).

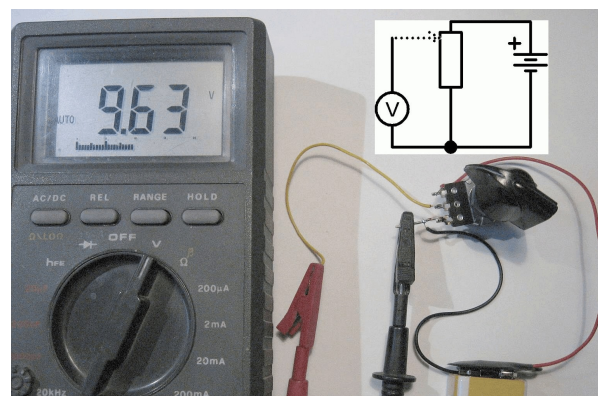
Z kolei rys.10. ilustruje ustawienie minimalne: gałka “pokazuje” mniej więcej dolny skrajny styk potencjometru. Miernik podłączony do styku środkowego (żółty przewód, czerwony krokodylek) i do masy (czarny krokodylek i czarny przewód) pokazuje zero.

Opisany powyżej sposób podłączenia potencjometru można nazwać “zadajnikiem napięcia”. Np. mogłaby to być regulacja napięcia wyjściowego zasilacza laboratoryjnego (rzecz jasna, po odpowiednim wzmocnieniu) itp.

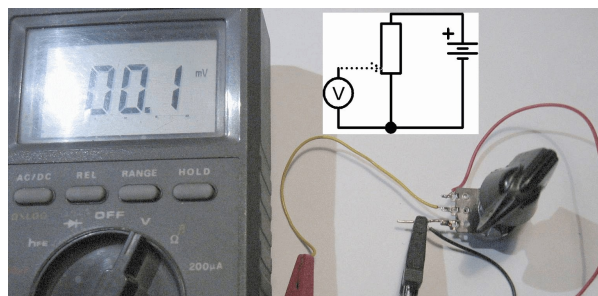
UWAGA. Na rysunkach 8, 9 i 10 zamieszczono schematyczne przedstawienie obwodów z symbolami potencjometru. Jednak trzeba zaznaczyć, że **tylko symbol z rys.8 jest poprawny, natomiast symbole potencjometru z rys.9 i rys.10 są stworzone tylko na potrzeby tych wyjaśnień.** Na prawdziwych schematach nie “przesuwa się” styku potencjometru (powinien być zawsze na środku).



Rys. 8. Środkowe położenie potencjometru



Rys. 9. Potencjometr ustawiony na maksymalne napięcie

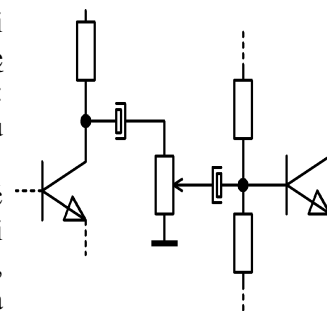


Rys. 10. Regulacja napięcia wyjściowego potencjometru: napięcie minimalne

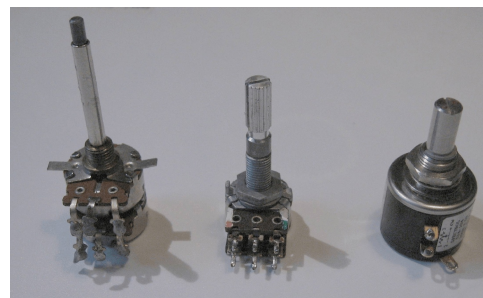
W zasadzie w taki sam sposób (z pewnymi dodatkowymi zastrzeżeniami – patrz dalej) wykorzystuje się potencjometry do regulacji głośności. Używa się wtedy potencjometrów logarytmicznych, a nie liniowych, ale podłącza tak samo: zamiast dodatniego bieguna baterii dołączone jest źródło sygnału, a ze styku ruchomego pobieramy sygnał o mniejszej lub większej amplitudzie.

Jeśli użyty potencjometr ma charakterystykę liniową, to zależność między kątem obrotu osi a napięciem jest liniowa. Zwykle dla użytkownika, czyli tego, kto kręci gałką, tak jest najwygodniej. Wyjątkiem są, jak już wspomniano, regulacje audio (głośności, tonów zwykle też): wtedy dla uzyskania wrażenia (słuchowego) liniowej regulacji potencjometr powinien być logarytmiczny.

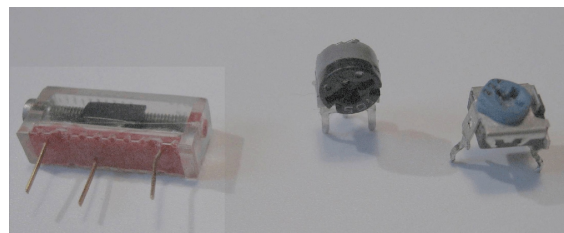
Z punktu widzenia elektronicznego otoczenia potencjometru należy koniecznie zauważyć, że przedstawiony obwód ma **zmienną rezystancję wyjściową R_{wy}** . Załóżmy najprostszą sytuację, taką jak w opisywanym właśnie obwodzie: potencjometr o rezystancji 100k Ω , „dolny” zacisk potencjometru podłączony do masy, górny – do napięcia zasilania. A więc w skrajnym dolnym położeniu (rys.10) rezystancja wyjściowa bliska zera (to tylko opór styku ruchomego). Z kolei w skrajnym górnym położeniu (rys.9) jest to w przybliżeniu rezystancja wewnętrzna źródła napięcia (tu użyliśmy baterii, więc to dość mała rezystancja, np. rzędu omów). Natomiast w położeniu środkowym (rys.8) rezystancja bardzo wyraźnie rośnie: teraz jest to równoległe połączenie oporów górnej części ścieżki oporowej (od styku górnego do ślizgacza) i dolnej części (od ślizgacza do dolnego styku). Dla potencjometru o oporności 100k Ω są to oporności po 50k Ω każda. Stąd wyjściowa rezystancja tego obwodu w położeniu środkowym wynosi 25k Ω . Przy regulacji R_{wy} zmienia się płynnie w powyższym przypadku od około zera do 25k Ω . Jest to istotna i raczej niewygodna właściwość tego obwodu: aby regulacja była naprawdę liniowa, wyjścia potencjometru nie można obciążać.



Rys. 11. Obwód regulacji głośności



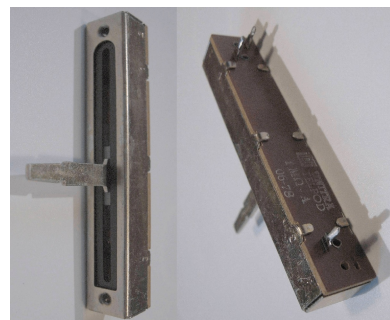
Rys. 12. Potencjometry specjalne (podwójny, stereo, helipot)



Rys. 13. Potencjometry montażowe

UŻYCIEM POTENCJOMETRU DO REGULACJI GŁOŚNOŚCI

Co do podstawowej zasady regulacji, obwody regulacji głośności z użyciem potencjometru są budowane tak, jak wyżej wyjaśniono. Jednak trzeba dodać praktyczną uwagę: potencjometr służący do regulacji głośności powinien mieć odcięte wszelkie składowe stałe. Jeśli tych składowych nie odetniemy, będziemy słyszeć większe lub mniejsze trzaski albo szum podczas kręcenia potencjometrem. Tylko zupełnie nowy potencjometr nie da tego efektu (więc można się nabrać, że wszystko jest OK), ale po kilkunastu pokręceniach trzaski będzie słychać. Dlatego należy odciać składowe stałe (zwykle zarówno od wejścia i od wyjścia) odpowiednio dobranymi kondensatorami. Typowe podejście ilustruje rys.11. Założono, że obwód kolektora pierwszego tranzystora ma potencjał dodatni, obwód bazy drugiego tranzystora także. Ponieważ przenoszony sygnał ma charakter akustyczny, zachodzi potrzeba uzyskania małej wartości dolnej częstotliwości granicznej. Zwykle skutkuje to koniecznością stosowania kondensatorów o dużej pojemności, więc elektrolitycznych, co zilustrowano na rysunku.



Rys. 14. Potencjometr suwakowy

POTENCJOMETRY SPECJALNE

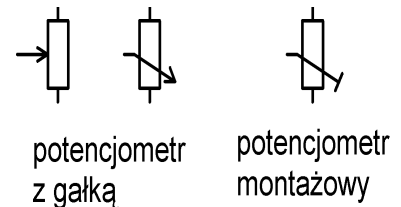
Spotyka się bardzo różne wykonania i wersje potencjometrów, w tym podwójne, wieloobrotowe, suwakowe, z wyłącznikiem itd. Na rys.12. element z lewej to potencjometr podwójny niezależny. Obecnie jest rzadko spotykany. Ma dwie niezależne osie – cieńsza oś (na zdjęciu ciemny, cienki pręt wystający na górze z niklowanej rurki) jest umieszczona w środku drugiej osi (na zdjęciu niklowana rurka) drugiego potencjometru.

Element tego typu był stosowany zwykle w przenośnym sprzęcie audio np. do regulacji “sopranów” i “basów”. Taki potencjometr wymagał specjalnych podwójnych (“dzielonych”) gałek.

Środkowy element to potencjometr podwójny tzw. "stereo" – tutaj oś dla obu potencjometrów jest wspólna (tzn. kręcą się jednocześnie).

Po prawej stronie rys.12 widać potencjometr wieloobrotowy (helipot). Większość wieloobrotowych potencjometrów ma dziesięć obrotów, rzadziej spotyka się wersje o innej liczbie obrotów. Wewnętrzna konstrukcja helipotu to ścieżka oporowa ułożona w kształt linii śrubowej. Ruchomy styk takiego potencjometru wykonuje jednocześnie ruch obrotowy i przesuwny. Większość helipotów ma gwarantowaną małą nieliniowość (ułamki procenta), dzięki czemu przy wykorzystaniu specjalnych wieloobrotowych gałek mogą służyć jako precyzyjne zadajniki.

Potencjometry przeznaczone do regulacji głośności mogą też mieć dodatkowe odczepy (ze środka ścieżki oporowej) związane z dopasowywaniem przenoszonego pasma do fizjologii słuchu. Często też takie potencjometry wyposaża się w wyłączniki sieciowe – przy początku ruchu osi potencjometru następuje włączenie zasilania.

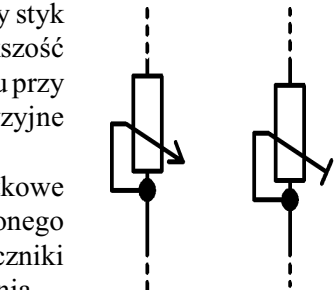


Rys. 15. Symbole potencjometrów

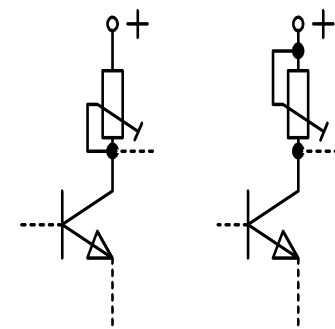
POTENCJOMETRY MONTAŻOWE (“PR”)

Osie wyżej opisanych potencjometrów prawie zawsze są dostępne dla użytkownika, który za ich pomocą reguluje jakiś parametr urządzenia. Jednak gdybyśmy zdjęli obudowę jakiegoś złożonego sprzętu analogowego (np. oscyloskopu) ujrzelibyśmy sporo małych potencjometrów, które nie są dostępne dla użytkownika. Są to potencjometry montażowe, zwane “PR-kami” (rys.13). Idea ich działania jest taka sama, jak zwykłych potencjometrów, jednak zwykle nie posiadają one obudowy (ew. bardzo małej), ani też osi, na którą można założyć gałkę. Są też wyraźnie mniejsze. Aby obrócić taki PR-ek potrzebny jest śrubokręt. **PR-ki stosowane są tam, gdzie regulacja potrzebna jest jednorazowo, albo bardzo rzadko.** Np. podczas uruchamiania sprzętu, albo w czasie kalibracji. Element na środku rys.13 to bardzo powszechny PR-ek tzw. “stojący” (płaszczyzna elementu jest prostopadła do powierzchni płytki), a z prawej – równie powszechny tzw. “leżący” (płaszczyzna równoległa do płytki).

Istnieją także montażowe odpowiedniki helipotów, tzn. potencjometry montażowe wieloobrotowe, tzw. helitrimy (rys.13 po lewej). Stosuje się je dość rzadko, zwykle w sprzęcie wymagającym precyzyjnej analogowej kalibracji.



Rys. 16. Regulowana rezystancja



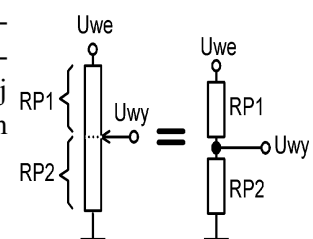
Rys. 17. Położenie styku ruchomego

SYMBOLE POTENCJOMETRÓW

Na rys.15 pokazano typowe symbole potencjometrów stosowane w polskim piśmiennictwie elektronicznym. Z lewej stosowane zamiennie, symbole potencjometrów z gałką, tj. dostępne dla użytkownika. Charakteryzuje je strzałka. Z prawej – symbol potencjometru montażowego, z charakterystycznym “T” oznaczającym ograniczoną dostępność – “tylko dla Techników”.

POTENCJOMETRY STOSOWANE JAKO ZMIENNE OPORNOŚCI

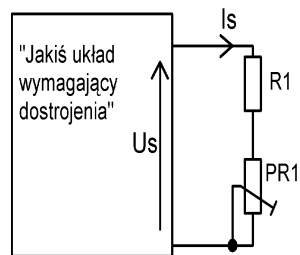
Dość oczywistym zastosowaniem potencjometru jest użycie go w uproszczony sposób – jako oporności regulowanej (o ile nie jest to sytuacja taka, w której należy korzystać z potencjometru “właściwego”). W zasadzie takie użycie mogłoby się sprowadzać do podłączenia tylko dwóch końcówek – styku ruchomego i jednego ze styków stałych. Jednak zwykle trzecią końcówkę (stałą) zwiera się ze stykiem ruchomym (rys.16), chociaż teoretycznie nie zmienia to właściwości obwodu. Zabieg ten zabezpiecza obwód regulacji przed sytuacją, kiedy ślizgacz w czasie ruchu obrotu odrywa się na chwilę od ścieżki oporowej. Chwilowa zmiana oporu ze skończonego na nieskończony może w niektórych obwodach spowodować wręcz groźne skutki. Dołączenie trzeciej końcówki powoduje, że nawet



Rys. 18. Potencjometr jako dzielnik oporowy

w sytuacji oderwania ślizgacza cały element wykazuje rezystancję nominalną.

Warto przy okazji zaznaczyć, że w prawie wszystkich potencjometrach montażowych styk ruchomy ma bezpośredni elektryczny kontakt z otworem na śrubokręt. Dlatego kiedy dotykamy PR-ka śrubokrętem (jeśli nie jest to specjalny śrubokręt z tworzywa) zostaje on dołączony do obwodu styku ruchomego, stając się na tę chwilę swojego rodzaju “anteną”. Stanowi to problem zwłaszcza w obwodach w.cz. Dlatego doświadczeni elektronicy starają się styk ruchomy umieszczać od strony węzła o mniejszej impedancji wewnętrznej, najlepiej jeśli jest to węzeł zasilania lub masy. Jeśli więc PR-ek jest np. rezystancją zmienną w obwodzie kolektora tranzystora, to styk ruchomy powinien być od strony zasilania, a nie od strony kolektora (rys.17). Podobnie, jeśli np. PR-ek pracuje w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego, to styk ruchomy powinien być od strony wyjścia, a nie wejścia itd.



Rys. 19. Obwód regulacji z PR-kiem

POTENCJOMETR CZYLI DZIELNIK REGULOWANY.

Ściśle rzecz biorąc każdy potencjometr użyty “trójkońcówkowo”, stanowi dzielnik regulowany, tak jak to ilustruje rys. 18, gdzie potencjometr został specjalnie “rozciągnięty”, aby zilustrować omawiany fakt. Ślizgacz dzieli warstwę rezystywną potencjometru na dwa opory R_{p1} i R_{p2} . Oczywiście w każdym konkretnym położeniu ślizgacza podział będzie inny, jednak zawsze obowiązują zależności:

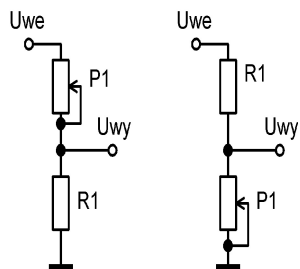
$R_{p1} + R_{p2} = R_p$, gdzie R_p to rezystancja nominalna potencjometru, oraz

$$U_{wy} = U_{we} \cdot R_{p2} / (R_{p1} + R_{p2}) \text{ (równanie dzielnika).}$$

W skrajnych położeniach, ma się rozumieć, jedna z oporności R_{p1} lub R_{p2} jest bliska zeru (rezystancja ścieżki metalicznej).

TYPOWE UŻYCIE POTENCJOMETRU MONTAŻOWEGO

Sprawa jest pozornie oczywista: dobierając obwód regulacji z PR-kiem, należy tak wyliczyć wartości, aby pożądana wartość prądu czy napięcia wypadła dla środkowego położenia ślizgacza. Jednocześnie zakres regulacji powinien być tak sensownie dobrany, żeby nie trzeba było ustawiać pokrętła PR-ka pod mikroskopem. Aby to zilustrować (rys.19), założmy, że mamy jakiś układ wymagający kalibracji lub dostrojenia prądu I_s i wydzielony obwód z PR-kiem (R_{p1}), który ma temu dostrojeniu służyć. Na obwodzie regulacji odkłada się stałe napięcie U_s . Niech teraz $U_s = 2V$, a zakładany prąd $I_s = 2mA$ z regulacją $\pm 0.5mA$. Ujmując to inaczej – minimalny prąd regulacji I_{smin} wyniesie $1.5mA$, a maksymalny $I_{smax} = 2.5mA$. Maksymalny prąd to PR-ek skreślony na zero, więc prąd ustalany będzie przez sam opornik R_1 : $R_1 = U_s / I_{smax} = 2V / 2.5mA = 0.8k\Omega$. Z kolei przy minimalnym prądzie I_{smin} PR-ek będzie miał maksymalny opór, więc: $R_1 + R_{PR} = U_s / I_{smin} = 2V / 1.5mA = 1.33k\Omega$. Z tego $R_{PR} = 1.33k\Omega - 0.8k\Omega$, $R_{PR} = 0.53k\Omega$. Przekładając uzyskane liczby na wartości dostępne z szeregu zastosujemy $R_1 = 820\Omega$ i PR-ek 470Ω .

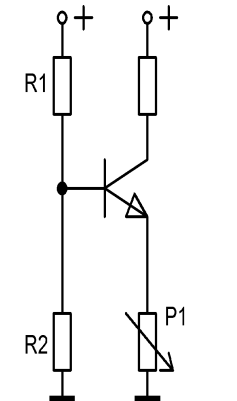


Rys. 20. “Sztuczny” dzielnik z regulowaną rezystancją

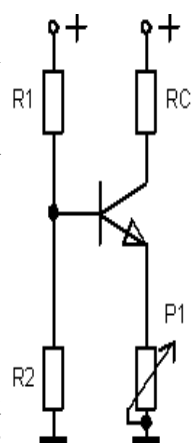
NAJCZĘSTSZE BŁĘDY

“Sztuczny” dzielnik. Błąd ten polega na użyciu potencjometru do regulacji napięcia, ale potencjometr występuje tu jako regulowana rezystancja dzielnika. Taki dzielnik składa się ze zwykłego opornika i właśnie rezystancji regulowanej (rys.20 pokazuje dwie wersje takiego rozwiązania). Wynika to zwykle z niezrozumienia działania potencjometru. Oba przedstawione układy są niewygodne z kilku powodów. Po pierwsze i najważniejsze: regulacja taka jest mocno nieliniowa, gdyż zmienny opór występuje w mianowniku zależności

$U_{wy}(U_{we})$, co daje hiperboliczną charakterystykę przestrajania. Po drugie: układ z lewej nie pozwala na osiągnięcie zera na wyjściu, natomiast układ z prawej nie pozwala na osiągnięcie wartości maksymalnej (tj. U_{we}) na wyjściu. Zdarzają się wprawdzie nietypowe sytuacje, kiedy należy użyć właśnie takiego rozwiązania, ale



Rys. 21. Potencjometr “do niczego”



Rys. 22. Potencjometr “zwierający”

ogromna większość takich realizacji to błędy.

Potencjometr “do niczego”. Chyba najczęstszy błąd początkujących. Ilustruje to rys.21. Potencjometr P_1 miał zapewne służyć do regulacji prądu emitera, jednak suwak nie jest do niczego podłączony, więc zmiana jego położenia nie wpływa na układ. Być może źródłem tego błędu jest występujące na schematach blokowych ogólne oznaczenie regulacji (jakiś ogólny element ze strzałką). Jednak na schemacie ideowym konkretnego układu takie oznaczenie to potencjometr użyty jako stały opornik.

Regulowana rezystancja “zwierająca”. Błąd pojawiający się po poprawieniu błędu poprzedniego. Aby potencjometr z rys.21 coś zmieniał, trzeba oczywiście styk ruchomy dołączyć do któregoś z węzłów. Pokazuje to rys.22. Teraz potencjometr P_1 wpływa już na prąd emitera, ale robi to zbyt skutecznie. Jeśli użytkownik przekreśli ślizgacz do górnego położenia – potencjometr stanie się zwarcie. W zależności od parametrów układu skutek może być nieprzyjemny: prawdopodobne jest uszkodzenie tranzystora (za duży prąd emitera), może też zostać uszkodzona ścieżka oporowa potencjometru (przekroczenie prądu maksymalnego ścieżki). Aby uniknąć tego problemu należy w szereg z potencjometrem wstawić opornik R_0 ustalający wartość minimalną rezystancji w obwodzie (rys.23).

UWAGA: konieczność ograniczania zakresu regulacji dotyczy także obwodów z R-kami.

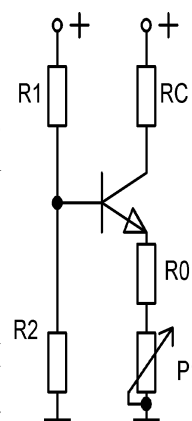
Za duży prąd ścieżki oporowej. Rzadko czytamy karty katalogowe potencjometrów. Stąd dość często przekraczamy dopuszczalne prądy, które można przepuszczać przez ścieżkę potencjometru. Jest to parametr niezależny od dopuszczalnej mocy wydzielanej na całym potencjometrze. W niektórych potencjometrach prąd dopuszczalny ścieżki oporowej wynosi zaledwie kilkanaście miliamperów (i nie wszyscy producenci podają ten parametr). Np. w układzie z rys.22 pomimo ograniczonego zakresu regulacji może dojść do uszkodzenia ścieżki oporowej, jeśli prąd wzrośnie powyżej dopuszczalnej wartości. Pozornym paradoksem jest to, że wcześniej może ulec uszkodzeniu potencjometr (zwłaszcza, jeśli jest wielokrotnie używany) niż tranzystor. Uszkodzenie jest najbardziej prawdopodobne w sytuacji, kiedy ślizgacz jest blisko pozycji maksymalnego górnego położenia, ale jeszcze nie na pozycji skrajnej, kiedy następuje zwarcie ślizgacza ze stykiem metalicznym.

WARTO WIEDZIEĆ

Potencjometry i PR-ki są dostępne w **ograniczonym szeregu oporności**. Ogromna większość to szereg E3 (mnożniki 10, 22, 47), albo tzw. szereg militarny z mnożnikami 10, 20, 50 (“w warunkach bojowych ką prosty może dochodzić do 100° ”).

Tolerancja potencjometrów i PR-ków jest gorsza niż zwykłych oporników. Większość z nich ma tolerancję 20%, albo nawet 30%.

Resurs pracy typowego potencjometru to kilkanaście tys. obrotów. Jeśli przez opisywany element płynie znaczny prąd stały, wtedy czas życia zwykle się skraca.



Rys. 23. Ograniczenie zakresu regulacji