



Tranzystory dla początkujących

W najbliższych numerach EdW przedstawię ci cykl artykułów dotyczący tranzystorów.

Wszyscy stosujemy te elementy, ale ty chciałbyś bliżej zapoznać się z tranzystorami i dokładnie poznać ich tajemnice. Słusznie!

Zacniemy od podstaw. Oczywiście najpierw weźmiemy na warsztat tranzystor bipolarny, czyli tak zwany „zwykły” tranzystor.

Wiesz, że są tranzystory NPN oraz PNP (inni piszą n-p-n i p-n-p). Te literki wzięły się z typu półprzewodnika – mamy mianowicie półprzewodnik typu p i półprzewodnik typu n. Ty jednak wcale nie musisz wiedzieć, o co w tym wszystkim chodzi. Uważam, że nie jest ci potrzebna wiedza o dziurach, elektronach, pasmach, itp., dlatego spróbuję pokazać tranzystor od zupełnie nietypowej strony.

Takimi wynalazkami, jak wszelkiej maści tranzystory polowe (MOSFET, JFET zajmiemy się później.

Na początek zadam ci pytanie, tylko na pozór proste: jak wyobrażasz sobie działanie tranzystora? Czy potrafiłbyś jasno wytłumaczyć komuś, jak działa tranzystor?

Zastanów się nad tym teraz przez chwilę, potem ja poprowadzę cię swoim tokiem rozumowania i na koniec skonfrontujesz dotychczasowe wyobrażenia z nowymi.

Choć temat nie jest specjalnie trudny, kilka spraw wymaga gruntownego wyjaśnienia. Dlatego zanim w następnym odcinku wyjaśnię ci działanie tranzystora, wcześniej wspólnie zastanowimy się nad pewnymi utartymi wyobrażeniami związanymi z prawem Ohma, pomówimy o źródłach napięciowych i prądowych, oraz przypomnimy sobie zasadę działania gaźnika samochodowego.

Wyobrażenia

Na podstawie codziennego doświadczenia trudno sobie wyobrazić przepływ prądu bez obecności napięcia. Zazwyczaj napięcie wyobrażamy sobie jako siłę sprawczą, wręcz przyczynę przepływu prądu. Nie ma napięcia – to nie ma i przepływu prądu. Coś podobnego jak z wodą: nie ma ciśnienia – nie ma i przepływu wody.

Taki pogląd, że napięcie jest przyczyną, a przepływ prądu skutkiem, jest głęboko

zakorzeniony w świadomości większości, jeśli nie wszystkich początkujących elektroników. Czy i ty tak uważasz?

Jeśli tak, to już masz kłopot! Takie uproszczone wyobrażenie o napięciu, jako sile sprawczej przepływu prądu, utrudniłoby między innymi zrozumienie działania tranzystora.

Właśnie dlatego musimy drobiazgowo przewalkować teraz ten temat.

Czy zgodzisz się ze stwierdzeniem, że napięcie jawi się nam dwojako:

1 – jako napięcie „samo w sobie”, pochodzące z jakiegoś źródła napięcia.

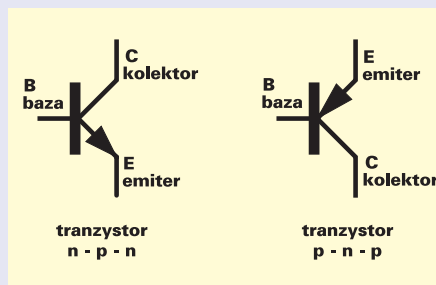
2 – napięcie jako wynik przepływu prądu przez opór.

Ale to drugie sformułowanie może budzić sprzeciw. Czy prąd może być przyczyną, napięcie – skutkiem? Czy prąd może przepływać przez opór bez obecności napięcia?

Oczywiście napięcie i prąd są ze sobą nieodłącznie związane. Jeśli weźmiemy jakiś opór (czyli rezystancję R), to jeśli występuje na nim napięcie, musi też płynąć prąd o wartości wynikającej z prawa Ohma ($I = U/R$). Jeśli z kolei przez ten opór płynie prąd, to musi na nim występować napięcie, czy mówiąc inaczej spadek napięcia, określony tym samym prawem Ohma ($U = I \times R$).

W czym więc problem?

W zasadzie problemu nie ma, chodzi tylko o twoje wyobrażenia. Jeśli bez za-



strzeżeń zgadzasz się ze sformułowaniem, że napięcie (czy spadek napięcia) może być rozumiane jako skutek przepływu prądu, to możesz spokojnie ominąć resztę materiału w tym śródtytułe.

Jeśli do tej pory wyobrażałeś sobie, że zawsze przyczyną jest napięcie, a przepływ prądu – skutkiem, czytaj wszystko.

Najpierw pytania: Czym jest spadek napięcia? Czy spadek napięcia i napięcie to to samo?

Potoczne określenie spadku napięcia może wprowadzić w błąd.

Na przykład weźmy baterię płaską o napięciu 4,5V. Po dołączeniu żarówki, napięcie zmniejszy się, czyli ktoś powie, że wystąpił spadek napięcia z 4,5V do, powiedzmy, 3,5V. Czasem napięcie w sieci energetycznej spada poniżej nominalnego i mówi się, że występuje spadek napięcia.

Alte takie potoczne określenia spadku jako obniżenia wartości napięcia są czymś innym, niż pojęcie spadku napięcia, jakim na co dzień posługujemy się w elektronice.

Przyjrzyjmy się temu bliżej.

Jeśli czytałeś moje listy w EdW 12/96 do EdW 4/97 to znasz hydrauliczną analogię obwodu elektrycznego. Jeśli dopiero zaczynasz, i temat jest ci obcy, przypomnę tylko to, co najważniejsze.

Prąd elektryczny to przepływ konkretnych nośników (elektronów). Z przepływem prądu jest podobnie jak z przepływem wody. Tam płyną elektrony, tu – cząstki wody. Napięcie elektryczne jest odpowiednikiem ciśnienia wody. Ale to samo ciśnienie to jeszcze nie przepływ. Ciśnienie wody wodociągowej może być bardzo duże, ale jeśli wszystkie krany są pozamykane, to przepływu wody nie ma. Ciśnienie jest więc czynnikiem wymuszającym przepływ wody, jednak samo ciśnienie to jeszcze nie wszystko – potrzebna jest jakaś droga dla wody.

W przypadku otwartego kranu wodociągowej sprawa jest prosta – czym większy prześwit, czyli przekrój, przez który może płynąć woda, tym więcej wody przepływa. Możemy powiedzieć, że

kran stawia przepływowi wody pewien większy albo mniejszy opór.

Ilość przepływającej wody zależy nie tylko od przekroju kranu, ale także od ciśnienia – czym wyższe ciśnienie, tym większy przepływ wody (przy takim samym przekroju). Ilość przepływającej wody zależy więc i od ciśnienia i od oporności kranu. Nie masz chyba wątpliwości, że ilość przepływającej wody zależy od występującego ciśnienia? Większe ciśnienie – więcej wody. Dokładnie tak samo jest w obwodzie elektrycznym: natężenie prądu (oznaczane literką I) zależy od napięcia (oznaczanego U) i oporności (ściślej rezystancji, oznaczanej zwykle literką R). Czym większe napięcie, tym większe natężenie prądu (przy takim samym oporze).

To jest oczywiście prawo Ohma (czytaj: oma)! Tak jest. Matematycznie wyraża to najważniejszy wzór elektrotechniki:

$$I = \frac{U}{R}$$

Czyli twoje na wierzchu – wygląda na to, że zawsze przyczyną przepływu wody (prądu) jest ciśnienie (napięcie), a nie odwrotnie!

Niekoniecznie! Zaraz ci to wyjaśnię.

Rysunek 1 pokazuje ogromny zbiornik wody o głębokości oznaczonej literką h. Nie masz chyba wątpliwości, że na dnie tego zbiornika ciśnienie wody zależy od tej głębokości, czyli inaczej wysokości słupa wody. Jeśli na wysokości dna zainstalujemy manometr, to pokaże on wartość tego ciśnienia. Na rysunku 1 jest o manometr A. Zamontujemy też długą poziomą rurkę na wysokości dna. Na jej drugim końcu instalujemy drugi manometr B i zawór (kran).

Zawór jest zamknięty.

Czy manometry A i B wskażą to samo ciśnienie?

Tak!

Jesteś pewny?

Niewątpliwie wskazania powinny być równe, o ile tylko rura jest pozioma i manometry zainstalowane są na tej samej wysokości.

Teraz odkręcamy trochę zawór na końcu rury. Zaczyna płynąć woda

Czy coś się zmieni?

Manometr A dalej pokazuje to samo ciśnienie, natomiast manometr B wskazuje teraz nieco mniejsze ciśnienie.

Odkręcamy bardziej kran – płynie więcej wody i wskazanie manometru B jest jeszcze mniejsze.

Rozważmy skrajny przypadek.

Otwieramy całkowicie kran (przypuśćmy, że jest to nowoczesny zawór kulowy, i istnieje taka możliwość). Teraz zawór nie hamuje już wypływu wody. Woda płynie z naszej rurki silnym strumieniem.

Przypuśćmy, że zbiornik jest ogromny i wypływ takiej ilości wody nie ma wpływu na jej poziom – przyjmujemy, że poziom wody h oraz ciśnienie na dnie zbiornika (manometr A) cały czas pozostają takie same.

Jaką wartość ciśnienia wskaże teraz manometr B?

Rusz głową!

Na pewno manometr A pokazuje cały czas takie samo ciśnienie. Jest to ciśnienie wywierane przez słup wody o wysokości h. Podczas przepływu na całej długości rurki wody występują opory...

A więc manometr B pokaże wartość bliską zeru!

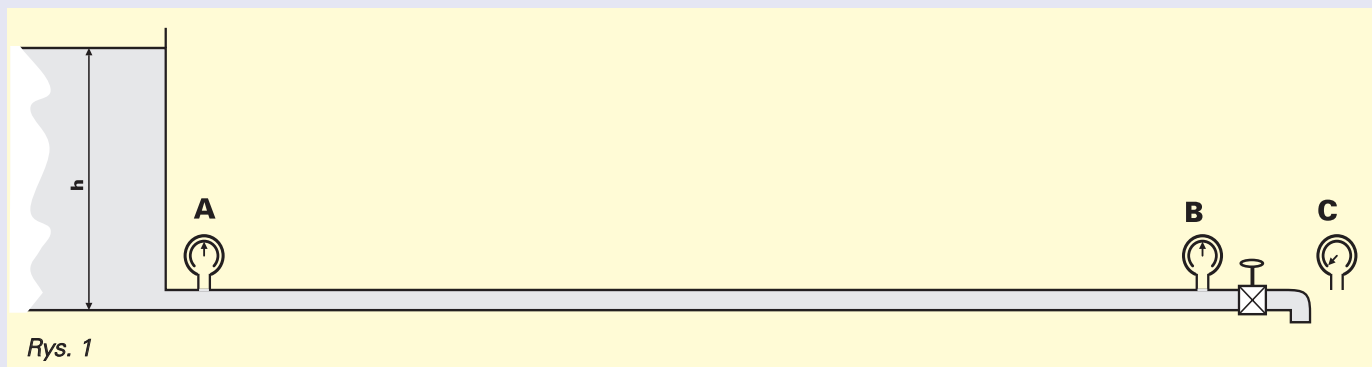
Nie zgadzasz się?

Weź pod uwagę, że woda płynie przez długą i stosunkowo ciekłą rurkę. Napotyka przy tym na opór.

Po całkowitym otwarciu kranu, wypływu wody przeciwstawia się tylko opór rurki.

Przy danym stałym ciśnieniu (w punkcie A), wypływ wody jest odwrotnie proporcjonalny do oporu stawianego przez rurkę. To już wiesz – to przecież kolejna ilustracja prawa Ohma. Dla obwodu elektrycznego.

Nieprzypadkowo na rysunku 1 umieściłem manometr C. Nie jest on podłączony do rurki, a więc cały czas pokazuje wartość zero. Przy całkowitym otwarciu zaworu, manometr B, który jest umieszczony blisko wylotu rurki też będzie pokazywał ciśnienie bliskie zeru (pokazywałby dokładnie zero, jeśli umieszczony byłby dokładnie na wylocie rurki).



Rys. 1

Pierwsze kroki

Zauważ: przy całkowitym otwarciu zaworu w punkcie A występuje jakieś stałe ciśnienie, w punkcie C ciśnienie na pewno jest równe zero, w punkcie B – bardzo bliskie zero. Gdy kran był zakręcony i nie występował przepływ wody (prądu), manometry A i B pokazywały takie samo ciśnienie. Później, gdy odkręcałiśmy stopniowo kran, przepływ wody wzrastał i proporcjonalnie do wielkości tego przepływu, wskazanie manometru B malało. Możemy po prostu powiedzieć, że między punktami A i B pojawiło się ciśnienie (bo różnica ciśnień to przecież ciśnienie)!

Pamiętaj, że właściwości rurki nie zmieniały się podczas doświadczenia – wspomniany opór rurki występował przez cały czas. Nie dawał on jednak o sobie znać, gdy nie było przepływu wody. Dał o sobie znać, gdy pojawił się przepływ – zauważyliśmy różnicę ciśnień między końcami naszej rurki. Zauważ, że ciśnienie między punktami A i B zależało od przepływu wody.

Czy zgodzisz się z wnioskiem, że przyczyną wystąpienia ciśnienia (różnicy ciśnień), był przepływ wody?

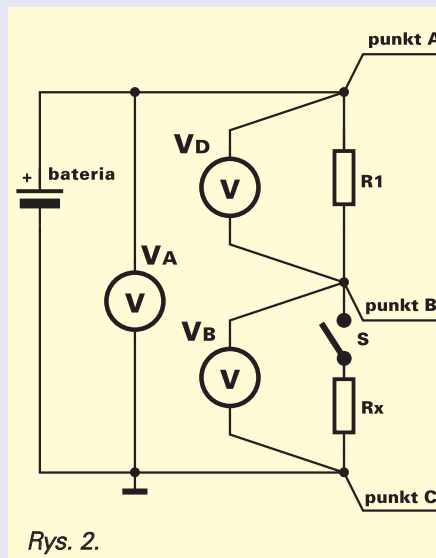
No, nareszcie w ten sposób widzisz przyczynę i skutek: przyczyną jest przepływ wody, a skutkiem – spadek ciśnienia między punktami A i B.

Dokładnie tak samo jest w obwodzie elektrycznym – przeanalizuj **rysunek 2**. Voltomierz V_A cały czas pokazuje takie samo napięcie zasilające. Gdy przełącznik S jest rozwarzony, to przez rezystancję R_1 na pewno nie płynie prąd. Oczywiście voltomierz V_B ma wtedy wskazanie takie samo jak voltomierz V_A , a voltomierz V_D na pewno wskazuje zero.

Gdy zewrzemy wyłącznik S, to przez rezystor R_1 popłynie prąd i wystąpi na nim spadek napięcia o wartości (kłania się prawo Ohma):

$$U = I \times R_1$$

Voltomierz V_D pokaże wartość tego napięcia.



Rys. 2.

Jednocześnie wskazanie voltomierza V_B obniży się.

Gdy zewrzemy styki przełącznika S i będziemy zmniejszać rezystancję potencjometru Rx, wtedy napięcie w punkcie B (V_B) będzie maleć, natomiast napięcie na rezystorze R_1 (V_D) – rosnąć. Oczywiście zawsze suma napięć wskazywanych przez voltomierze $V_D + V_B$ będzie równa napięciu wskazywanemu przez V_A (to jednak nie jest w tej chwili istotne).

Przy zmniejszeniu wartości potencjometru do zera (czyli przy zwarciu go), na rezystorze R_1 wystąpi pełne napięcie: voltomierz V_B wskaże zero, a wskazania mierników V_A V_D będą równe.

Jaki z tego wniosek?

Wnioseków można wysnuć kilka, ale ja chciałbym, żebyś przyzwyczaił się także do rozumienia spadku napięcia jako wyniku przepływu prądu przez opór.

Może powiesz, że to zależy od punktu widzenia. Masz rację, bo napięcie i prąd są ze sobą wzajemnie nierozłącznie związane (prawem Ohma), ale chodzi o to, być nie wyobrażał sobie, że zawsze przyczyną jest napięcie, a skutkiem – prąd. Jak widzisz, możemy to rozumieć odwrotnie i takie rozumienie bardzo przyda się nam przy analizie działania tranzystora.

Czy już utrwaliłeś sobie takie rozumienie napięcia?

Bardzo dobrze!

Teraz jeszcze jedna drobna sprawa.

Czy we wcześniejszym przykładzie z wodą nie patrzyłeś podejrzliwie na utożsamienie ciśnienia ze spadkiem ciśnienia? Czy to na pewno jest to samo?

Tak! TO JEST DOKŁADNIE TO SAMO! Przecież tak naprawdę, to ciśnienie równe zero panuje tylko w doskonałej próżni. My mamy do czynienia z ciśnieniem atmosferycznym. Jest ono wszechobecne w naszym życiu i często właśnie ciśnienie atmosferyczne traktujemy jako ciśnienie odniesienia, ciśnienie zerowe. Nie

wierzysz? A jak myślisz, jakie ciśnienie mierzysz u lekarza? Jest to nic innego, tylko różnica ciśnienia twojej krwi i ciśnienia atmosferycznego. (Podobnie manometry z rysunku 1 pokazują podobną różnicę, a manometr C wskazuje zero). A więc w wielu przypadkach można jednakowo traktować różnicę ciśnień i ciśnienie.

Podobnie jest z napięciem.

Nawet według definicji napięcie to różnica potencjałów.

W praktyce prawie zawsze przyjmujemy jakiś punkt odniesienia (ziemię czyli grunt, jeden z biegunów baterii zasilającej, albo metalową konstrukcję urządzenia elektronicznego), zakładając, że napięcie (ściślej – potencjał) wynosi tam zero i potem wszystkie napięcia mierzymy w stosunku do tego punktu. Punkt taki nazywamy masą.

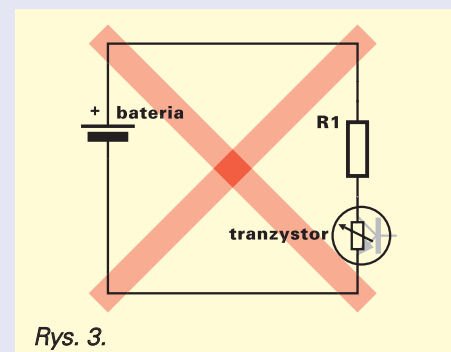
Jeśli potem mówimy o napięciu w danym punkcie układu, to zmierzaliśmy napięcie między masą a tym punktem.

A czasami mierzymy napięcie nie w stosunku do masy, tylko na zaciskach jakiegoś elementu, na przykład na końcówkach rezystora (czyli opornika). Mówimy przy tym, że mierzymy spadek napięcia na tym oporniku, albo krócej napięcie na oporniku.

Na rysunku 2 voltomierz V_B pokazuje napięcie w punkcie B, natomiast voltomierz V_D pokazuje napięcie na rezystorze R.

Może to, co teraz tłumaczę, jest dla ciebie oczywiste, ale wier mi, że nie jest oczywiste dla dużej grupy początkujących elektroników.

Domyślasz się zapewne, że rolę wyłącznika S i potencjometru Rx z rysunku 2 będzie pełnił nasz tranzystor. Prawie masz rację, jednak przedstawienie tranzystora jako sterowanej rezystancji daje więcej szkody niż pożytku, dlatego **rysunek 3** jest przekreślony, a my koniecznie musimy poszukać lepszego modelu.



Rys. 3.

Żeby zrozumieć działanie tranzystora musisz koniecznie zrozumieć pojęcie źródła prądowego.

Zajmiemy się tym za miesiąc.

Piotr Górecki