



Pojemnościowy czujnik poziomu cieczy

Niecodzienny pojemnościowy czujnik cieczy o małej komplikacji układowej. Umożliwia sterowanie pompą. Zabezpieczy grzałkę przed spalaniem. Zaalarmuje, gdy wystąpi niebezpieczeństwo przelania wody na przykład w wannie łazienkowej czy akwarium...

Do czego to służy?

Istnieje kilka metod monitorowania poziomu cieczy w zbiorniku, a najprostsza z nich polega na użyciu potencjometru sprzężonego z pływakiem. Napięcie na suwaku potencjometru jest proporcjonalne do poziomu cieczy. Inną metodą jest pomiar ciśnienia przez sondę zanurzoną w cieczy. Istnieje również metoda pojemnościowa oraz wykorzystująca ultradźwięki. A co zrobić w przypadku, gdy istnieje jedynie potrzeba stwierdzenia progowego poziomu cieczy w zbiorniku? Wszystkie wyżej wymienione metody pozwalają na reprezentację poziomu cieczy jako wartość analogową lub cyfrową. Jest to jednak okupione komplikacją sprzętową, programową, a w przypadku metody z pływakiem również komplikacją mechaniczną. Metody te są zbyt skomplikowane do określania dwóch stanów (poziom cieczy wyższy lub niższy od punktu pomiarowego). Taka informacja może być wystarczająca, gdy np. chcemy zabezpieczyć grzałkę przed spalaniem, w przypadku niedostatecznej ilości cieczy w zbiorniku. W innym przypadku niedobór cieczy w zbiorniku może włączać pompę uzupełniającą, a po osiągnięciu wymaganego poziomu ją wyłączyć. Prezentowany układ pomimo stosunkowo prostej budowy, ma wiele zalet. Najważniejsze z nich to:

- Czujnik pojemnościowy w postaci kondensatora ze ścieżek na obwodzie drukowanym.
- W zależności od wykonania izolacji czujnika, odporność na żrące roztwory i ich opary.

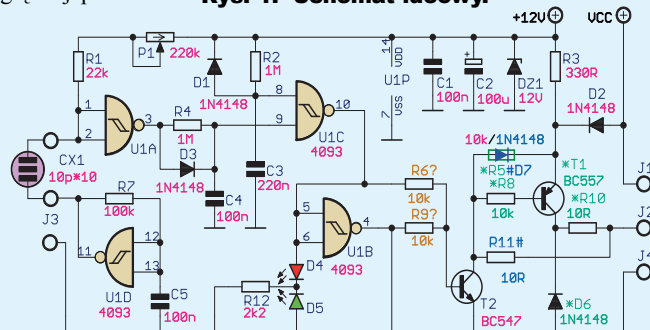
- Zasilanie napięciem niestabilizowanym z przedziału +12...24V.
- Znaczna odporność na zakłócenia zewnętrzne.
- Konfigurowalne na etapie montażu wyjście typu otwarty kolektor, mogące sterować (masą lub plusem zasilania) przekaźnikiem, optotriakiem lub być dołączone do innego układu na przykład do mikroprocesora.
- Na etapie montażu konfigurowany jest również stan aktywny wyjścia dla zanurzenia/wynurzenia czujnika.

Jak to działa?

Jeżeli zbudujemy kondensator, w którym przestrzeń między okładkami można „wypełnić” różnymi dielektrykami, to przy założeniu stałych wymiarów kondensatora, jego pojemność będzie się zmieniać zgodnie ze wzorem: $C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S) / d$. Aby zbyt nie komplikować, podany wyżej wzór na pojemność dotyczy kondensatora płaskiego, gdzie: ϵ_0 - stała przenikalności elektrycznej próżni i wynosi $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m, ϵ_r - wartość względnej przenikalności dielektrycznej dielektryka znajdującego się między okładkami kondensatora, S - powierzchnia okładki kondensatora, d - odległość okładek kondensatora. Wartość względnej przenikalności dielektrycznej dla powietrza wynosi w przybliżeniu 1F/m, a dla wody 80F/m. Zatem po zmianie dielektryka między okładkami, z powietrza na wodę, pojemność kondensatora powinna wzrosnąć kilkudziesięciokrotnie. W prezentowanym układzie rolę czujnika pełni kondensator, wykonany na obwodzie drukowanym.

Ponieważ okładki tak wykonanego kondensatora nie są naprzeciwko siebie jak w kondensatorze płaskim, praktyczna zmiana pojemności jest zbliżona do wartości 10...11 razy. W celu zwiększenia odporności na zakłócenia zewnętrzne wprowadzono trzecią okładkę niepołączoną do żadnego obwodu. Z punktu widzenia elektrostatycznego znajduje się ona między okładkami aktywnymi. Wprowadza pewną kierunkowość działania czujnika. Pierwszy rzut oka na **rysunek 1**, przedstawiający schemat urządzenia, może budzić wątpliwości. Aby układ działał poprawnie, nie należy po prostu montować wszystkich elementów. Napięcie zasilające z przedziału od +12V do +24V jest dołączane do punktu lutowniczego J1. Napięcie to nie musi być stabilizowane. Dioda D2 zapobiega uszkodzeniu układu w przypadku odwrotnej polaryzacji napięcia zasilającego. Elementy R3, DZ1 tworzą stabilizator, ogranicznik napięcia (+12V) zasilającego układ U1. Kondensatory C1, C2 odpowiadają za filtrację tego napięcia. Sercem układu są cztery bramki NAND z wejściami Schmitta, zawarte w strukturze U1 CMOS 4093. Bramka U1D jest generatorem

Rys. 1. Schemat ideowy.

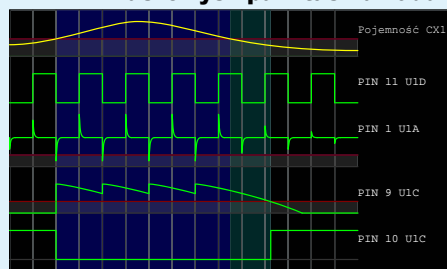


[?] Montować jeden rezystor zależnie od wymaganego stanu aktywnego wyjścia.

[*] Montować dla wersji wyjścia VCC OC.
[#] Montować dla wersji wyjścia GND OC.

przebiegu prostokątnego, o częstotliwości ustalonej elementami R7, C5 i wynoszącej w przybliżeniu 100Hz. Przebieg prostokątny z wyjścia bramki U1D jest kierowany do jednej okładki kondensatora-czujnika CX1. Druga okładka czujnika CX1 jest dołączona do wejść bramki U1A. Wejścia bramki U1A są podciągnięte do plusa zasilania poprzez rezystor R1 i potencjometr montażowy P1, więc w stanie „spoczynkowym” na wejściach bramki U1A jest logiczny stan wysoki. Zbocze opadające przebiegu z generatora na kondensatorze-czujniku CX1 powoduje pojawienie się ujemnej szpilki na wejściu U1A. Amplituda szpilki jest zależna od pojemności czujnika CX1 oraz rezystancji R1, P1. Jak opisano wyżej, pojemność kondensatora-czujnika jest zależna od stałej dielektrycznej izolatora, znajdującego się między okładzinami. Gdy czujnik jest „suchy”, jego pojemność jest „mała”, wtedy ujemny impuls nie osiąga dolnego progu przełączania bramki U1A. Na wyjściu U1A jest stan logiczny niski. Gdy poziom cieczy wzrośnie i czujnik zostanie zanurzony, jego pojemność wzrośnie, ujemny impuls osiągnie wartość niższą od dolnego progu przełączania bramki U1A. Bramka U1A przełącza wyjście i na krótką chwilę na jej wyjściu pojawia się stan wysoki. Czas trwania tego impulsu jest wystarczający, aby naładować przez diodę D3 kondensator C4. Potencjometr montażowy P1 umożliwia regulację czułości i histerezy czujnika. Kondensator C4 jest rozładowywany przez rezystor R4. Stała czasowa tak zbudowanego przerzutnika jest większa niż okres przebiegu z generatora. Ponieważ kondensator C4 jest dołączony do pierwszego wejścia U1C, stan logiczny na wyjściu tej bramki będzie podtrzymywany, dopóki kondensator C4 będzie podładowywany impulsami z U1A (przy założeniu, że drugie wejście bramki U1C jest w stanie wysokim). Gdy poziom cieczy spadnie, pojemność czujnika zmaleje i bramka U1A przestanie doładowywać kondensator C4. Ten się rozładowuje i na wyjściu bramki U1C pojawi się stan wysoki. Elementy R2, C3 dołączone do drugiego wejścia bramki U1C „dbają” o to, aby zaraz po włączeniu zasilania na wyjściach układu nie pojawiały się stany nieustalone. Po włączeniu zasilania na czas ładowania kondensatora C3 przez rezystor R2 na wyjściu bramki U1C jest wymuszony

Rys. 2. Oscylogramy przebiegów w kluczowych punktach układu.



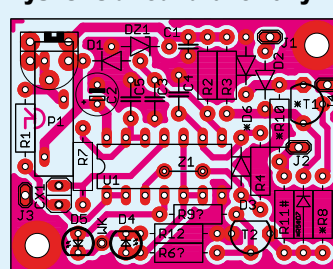
stan wysoki. Po naładowaniu kondensatora C3 stan na wyjściu bramki U1C jest zależny od stanu na jej wejściu, czyli na nóżce 9 U1. Dioda D1 zapewnia rozładowanie kondensatora C3 po wyłączeniu napięcia zasilania. Na **rysunku 2** przedstawiono w uproszczeniu oscylogramy kluczowych punktów układu. Uproszczenie polega na nieuwzględnieniu histerezy wejść Schmitta. Poziom logiczny z wyjścia bramki U1C jest doprowadzony do wejść bramki U1B, na której wyjściu jest on zanegowany. LED D4 sygnalizuje zanurzenie czujnika. Innymi słowy, że poziom cieczy jest powyżej czujnika. LED D5 sygnalizuje, że poziom cieczy jest poniżej czujnika. Rezystor R12 ogranicza prąd płynący przez LED. Konfigurację stanu, jaki ma się pojawić na wyjściu układu dla poziomu niższego/wyższego cieczy, zapewnia jeden z rezystorów R6?, R9? oznaczonych „?” w nazwie i dodatkowo wyróżnionych na schemacie kolorem pomarańczowym. Montaż rezystora R6?, który podaje na bazę tranzystora T2 poziom logiczny z bramki U1C, powodując jego otwarcie lub zamknięcie. W takim przypadku wyjście J2 typu „otwarty kolektor” przy poziomie cieczy wyższym od czujnika będzie w stanie wysokiej impedancji. Przy poziomie cieczy niższym od czujnika na wyjściu J2 pojawi się zależnie od konfiguracji wyjścia masa lub napięcie zasilania VCC. Wtedy rezystora R9? nie należy montować. Gdy potrzebne jest odwrotne działanie wyjścia J2, potrzebna jest dodatkowa inwersja na bramce U1B. W takim przypadku nie należy montować rezystora R6?, natomiast zastosować rezystor R9?. Oprócz wyboru stanu, zależnie od poziomu cieczy, wyjście J2 może być skonfigurowane jeszcze na dwa sposoby. Zależnie od montowanych elementów, może wystawiać masę lub napięcie zasilania VCC. Dla wyjścia wystawiającego masę, kolektor tranzystora T2 jest połączony z wyjściem J2 przez rezystor R11#. Wartość tego rezystora nie jest krytyczna i należy ją dobrać zależnie od przewidywanego obciążenia, którym może być LED optotriaka, cewka przekaźnika czy wejście mikrokontrolera. Może zatem zawierać się w przedziale od 0Ω (zwora) do kilku kΩ. Dioda #D7 zabezpiecza tranzystor T2 przed uszkodzeniem w przypadku indukcyjnego obciążenia, jakim przykładowo jest cewka przekaźnika. W takiej konfiguracji wyjścia, elementy *R5, *R8, *R10, *T1, *D6 oznaczone „*” w nazwie i dodatkowo wyróżnione na schemacie zielonym kolorem nie będą montowane. Dla wyjścia wystawiającego plus zasilania VCC, elementy oznaczone „#” w nazwie i wyróżnione na schemacie niebieskim kolorem, to jest R11#, #D7, nie będą montowane. Występują natomiast elementy *R5, *R8, *R10,

*T1, *D6 oznaczone „*” w nazwie i dodatkowo wyróżnione na schemacie zielonym kolorem. Wyjście J2 jest połączone z kolektorem *T1 rezystorem *R10, a jego wartość powinna być dobrana analogicznie jak we wcześniejszym zdaniu, dotyczącym rezystora R11#. Gdy tranzystor T2 nie przewodzi, na bazie tranzystora *T1 jest napięcie zasilania VCC i na wyjściu J2 jest stan wysokiej impedancji. Gdy tranzystor T2 przewodzi, prąd zaczyna płynąć przez *R5 i *R8 i napięcie na bazie *T1 jest niższe o 0,6V od VCC. Tranzystor jest nasycony i na wyjściu J2 jest wystawione napięcie VCC. Dioda *D6 zabezpiecza tranzystor *T1 przed uszkodzeniem w przypadku obciążenia o charakterze indukcyjnym. Pobór prądu dla wersji *otwarty kolektor wystawiający masę* wyniósł 6mA dla stanu wysokiej impedancji na wyjściu i 7mA dla stanu aktywnego. Wartość prądu dla wersji z wyjściem *otwarty kolektor wystawiający VCC* wyniosła 10mA dla wyjścia aktywnego i 8mA dla wyjścia w stanie wysokiej impedancji. Podczas pomiarów tej wersji wyjście nie było obciążone. W obu wersjach znaczna część prądu zasilania, to jest około 5mA, płynie przez LED. Pomiar poboru prądu obu wersji był dokonywany przy stabilizowanym napięciu zasilającym VCC równym 15V.

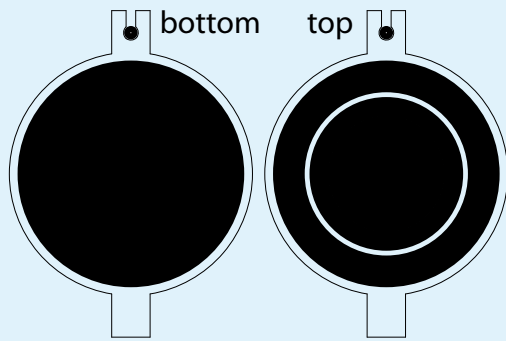
Montaż i uruchomienie

Obwód drukowany jednostronny, pokazany na **rysunku 3**, został zwymiarowany tak, aby zmieścił się w obudowie o nazwie handlowej Z-47. Montaż części elektronicznej należy rozpocząć od sprawdzenia obwodu drukowanego na występowanie zwarc i pęknięć w połączeniach. W celu ułatwienia sobie pracy, elementy można lutować od najmniejszych do największych. Pamiętać należy, że lutowane są tylko elementy dla wybranej wersji, co było opisane w poprzednim śródtytuł. Układ scalony należy wlutować po montażu kondensatorów blokujących szyny zasilania, pamiętając o wlutowaniu wcześniej pod nim zwory Z1. Podstawka pod układ scalony nie jest wskazana. LED należy zamontować zależnie od przewidywanej perforacji obudowy lub, w celu obniżenia poboru prądu, zrezygnować z ich stosowania np. w przypadku sygnalizacji zrealizowanej w urządzeniu podłączonym do wyjścia układu. Zamiast dwóch oddzielnych LED, można zastosować jedną LED dwukolorową ze wspólną katodą, lutowaną do punktu oznaczonego na obwodzie drukowanym WK. Przewody zasilające oraz przewód wyjścia wlutować bezpośrednio w punkty lutownicze J1, J2, J4. Płytkę drukowaną przewiduje montaż trzech różnych rodzajów potencjometru montażowego P1. Zależnie od zastosowanego potencjometru,

Rys. 3. Obwód drukowany.



należy wykonać w obudowie otwór pozwalający na jego regulację. Otwory należy wykonać również dla przewodów zasilających, przewodów czujnika oraz przewodu wyjścia. Pojemnościowy czujnik zanurzenia został zrobiony z



Rys. 4. Płytki czujnika CX1.

laminatu o dwóch warstwach miedzi. Mozaika czujnika została pokazana na rysunku 4 (obie strony dwustronnej płytki drukowanej).

Stopień trudności został oceniony na dwie gwiazdki, nie ze względu na skomplikowanie części elektronicznej, a ze względu na potencjalne trudności w wykonaniu pojemnościowego czujnika poziomego, a właściwie prawidłowego zabezpieczenia go przed kontaktem z cieczą. Staranne wykonanie czujnika gwarantuje bezawaryjną pracę. Pierwszym etapem montażu czujnika jest przylutowanie przewodów do jego okładzin, co uwidocznione jest na rysunku 5a. Następnie należy uszczelnnić i unieruchomić przewody od strony czujnika klejem dwuskładnikowym, co ilustruje rysunek 5b. W urządzeniu modelowym do tego celu zastosowano poxipol. Ostatnią czynnością, wykonywaną po wyschnięciu kleju, jest pokrycie czujnika warstwami lakieru o właściwościach uodparniających czujnik na warunki środowiskowe, w jakich docelowo będzie pracował, np. woda, roztwory o różnym odczynie. Prototypowe czujniki zostały pokryte trzema warstwami dwuskładnikowego lakieru samochodowego przez zanurzenie

czujnika w lakierze – każdorazowo po wyschnięciu poprzedniej warstwy. Konsystencję lakieru należy dobrać doświadczalnie, aby powstałe warstwy nie były zbyt grube co może obniżyć zakres zmian pojemności (czułość) czujnika. Na rysunku 5c pokazano gotowy czujnik.

Przewody czujnika należy wlotować w punkty lutownicze, oznaczone CX1. Powinny one być możliwie krótkie. Tak wykonany prototypowy czujnik w stanie „suchym” miał pojemność 10pF (z przewodami łączącymi go z płytką) w temperaturze 20°C. Przy całkowitym zanurzeniu w wodzie o tej samej temperaturze jego pojemność wzrosła do około 110pF, czyli jedenastokrotnie. Ten sam test w wodzie o temperaturze ok. 80°C wykazał dryft temperaturowy czujnika. Mianowicie pojemność czujnika „suchego” wyniosła 20pF, a czujnika zanurzonego 220pF. W tym zastosowaniu dryft ten można zignorować, ustawiając potencjometrem P1 próg przełączania na pojemność około 50...60p.

Oczywiście można zbudować we własnym zakresie czujnik o zupełnie innej konstrukcji, byle tylko po zanurzeniu w cieczy (w wodzie) jego pojemność zmieniała się w wystarczającym stopniu. W przypadku zastosowania czujnika innego niż opisany w artykule, może wyniknąć potrzeba doboru wartości R1 i P1 lub też zmiana częstotliwości generatora

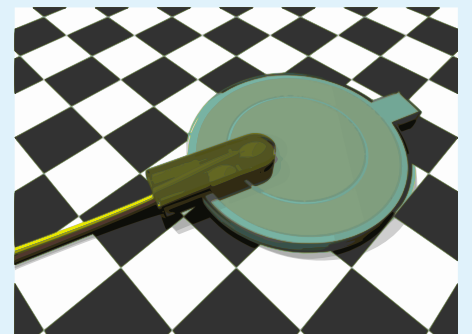
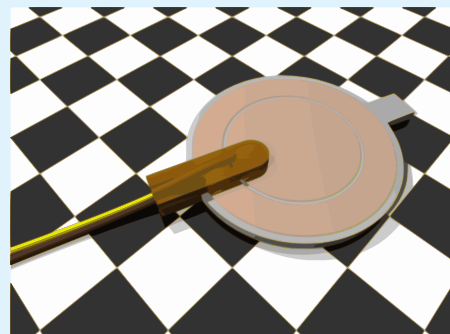
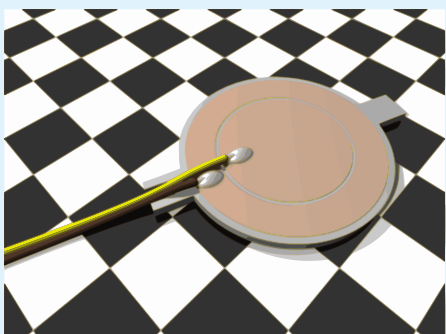
UID R7, C5 oraz korekta stałej czasowej przerwutnika R4, C4.

Kalibracji czujnika należy dokonać doświadczalnie, zanurzając czujnik w docelowych warunkach pracy, biorąc pod uwagę nie tylko rodzaj cieczy, ale i skrajne temperatury pracy czujnika. Podczas kalibracji należy obserwować wskazania obu LED. Gdy wcześniej zrezygnowano z montażu LED sygnalizacyjnych, na czas kalibracji dobrze jest zapewnić sygnalizację stanu czujnika z wyjścia układu. Jest to jedyna wymagana do poprawnej pracy regulacja układu. Należy pamiętać, że obniżenie progu przełączenia czujnika powoduje zwiększenie jego czułości i jednocześnie zmniejszenie histerezy. **Ze względu na wykonywaną „domowymi sposobami” izolację kondensatora-czujnika w żadnym wypadku nie wolno zasilać układu z zasilaczy beztransformatorowych i innych niezapewniających izolacji galwanicznej od sieci energetycznej 230V.** W razie konieczności obudowę można zaizolować – co zostawiam do przemyślenia i realizacji Szanownym Czytelnikom.

Cyprian Kamil Kowalski
c4v2@o2.pl



Rys. 5a, b, c. Montaż kondensatora-czujnika CX1.



Wykaz elementów

R1	22kΩ 1/4W
R3	330Ω 1/4W
R2, R4	1MΩ 1/4W
R7	100kΩ 1/4W
*R8, R6?, R9?, *R5	10kΩ 1/4W
R12	2,2kΩ 1/4W
*R10, R11#	10Ω 1/4W - patrz opis działania
P1	220kΩ - patrz montaż i uruchamianie
C1	100n ceramiczny
C4, C5	100n foliowy
C3	220n foliowy
C2	100u/16V
*D6, D1, D2, D3, #D7	1N4148
DZ1	12V
D4, D5	LED 3mm
T2	BC547
*T1	BC557
U1	4093
CX1	PCB 10p*10 - patrz montaż i uruchamianie
Z-47	Obudowa

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3029.