

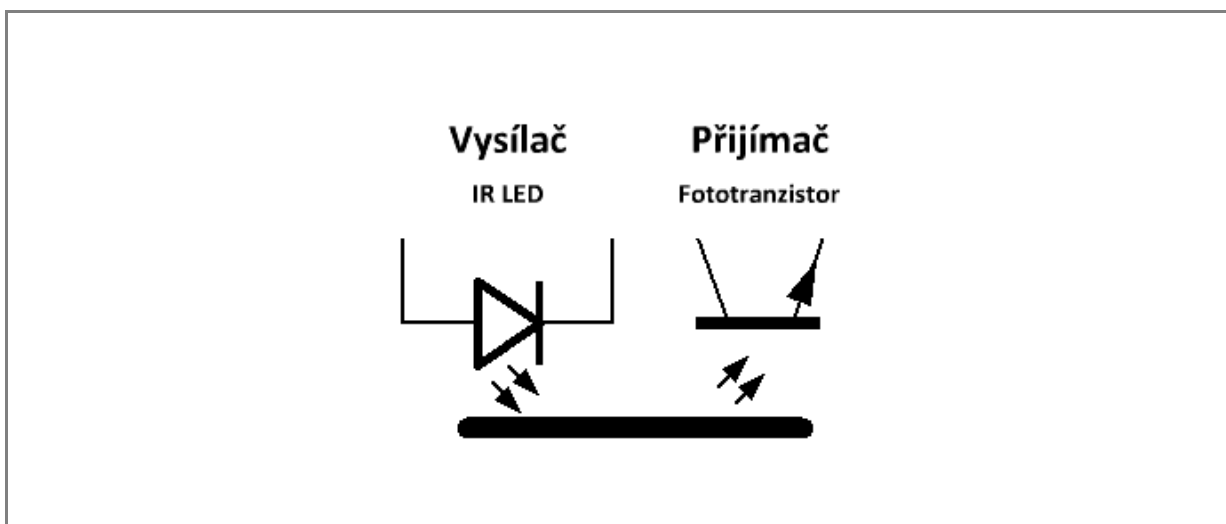
Černá nebo bílá?

V mnoha oborech potřebujeme jednoznačně rozlišit tmavou barvu od světlé, v převážné většině případů pak černou od bílé. Příkladem takového exaktního rozlišování mohou být robotické soutěže „Stopař“ a „Mini Sumo“, kde v prvním případě musí robotické vozítko sledovat černou čáru na bílém podkladě a v druhém případě zůstat na černé kruhové ploše, ohraničené bílým mezikružím, které je pro sumo robot „tabu“.

Dalším možným použitím takového čidla je snímání impulzů z měřícího kolečka nebo pásku, na kterém se střídají bílá a černá pole. Rychlost opakování těchto změn logické úrovně na výstupu čidla udává rychlost pohybu, počet změn ujetou dráhu.

Způsob detekce

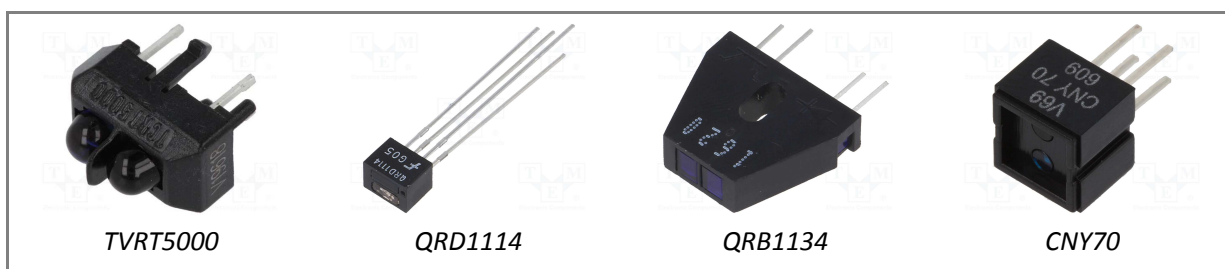
K rozlišení černé barvy od bílé se využívá jejich různé odrazivosti pro světlo. Osvítíme-li plochu, na které se střídá černá a bílá a snímáme odražené světlo fotoelektrickým senzorem, dostaneme na výstupu tohoto senzoru rozdílnou velikost elektrického signálu při snímání odrazu vysílaného světla od černé nebo bílé plochy. Při přechodu mezi bílou a černou plochou se ale bude velikost elektrického signálu měnit pomalu a nejistě, takže jeho přesné zpracování v následných elektronických obvodech je obtížné. Je samozřejmé, že absolutní úroveň tohoto signálu bude také značně ovlivněna okolním osvětlením a celý senzor je tedy nutno zaclonit před dopadající parazitním světlem, třeba uzavřením do neprůhledné schránky.



Pro omezení této závislosti na rušení okolním světlem se v běžných světelných senzorech jako zdroj přímého osvětlení používá LED, vyzařující světlo v infračervené, pro lidské oko neviditelné části spektra a fototranzistor, pracující jako přijímač, má předřazen filtr, který viditelné světlo nepropustí.

Praktické provedení

K detekci odrazu od černé a bílé barvy často používá odrazový senzor TCRT5000 nebo mnohem subtilnější QRD1114, určený k zapájení do plošného spoje, případně QRB1134, který je uložen ve větším pouzdře a je možno ho ke konstrukci přišroubovat. Všechny senzory pracující v infračervené, tedy pro lidské oko neviditelné části spektra, ve které je ale také možno použít mnohem větší světelný výkon. Přijímačem odraženého infračerveného záření je fototranzistor s předřazeným filtrem, který nepropouští viditelné světlo.



Výše zmíněné senzory jsou levnější a dostupnější náhradou odrazového senzoru CNY70, který se často vyskytuje v popisech amatérských konstrukcí.

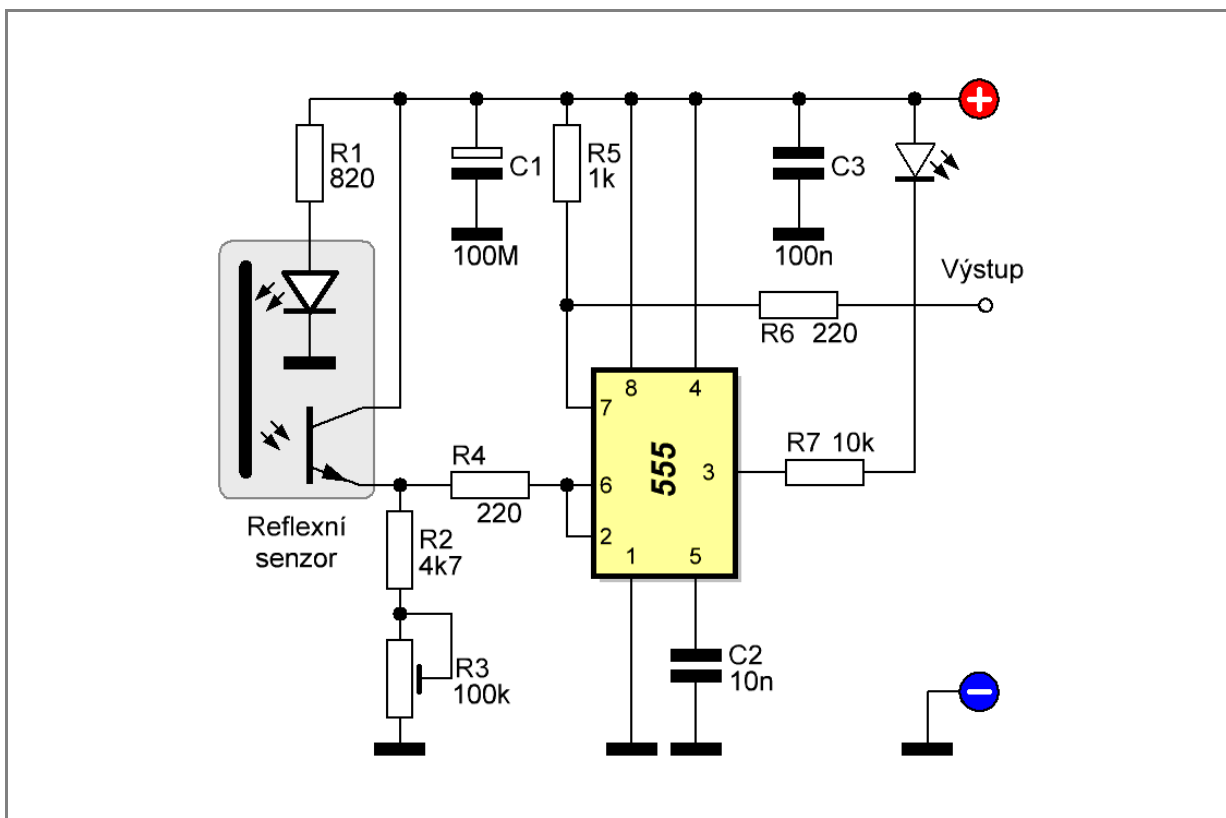
Protože žádný ze senzorů není vybaven přídatnou elektronikou, která by upravovala jeho výstupní signál, je třeba elektrický signál z výstupu senzoru dále zpracovat, aby bylo vyhodnocení odstínu jednoznačné. Zpracování signálu může proběhnout buď programově v mikrokontroleru nebo je možno na výstup senzoru připojit vyhodnocovací obvod, který zaručí, že při přechodu přes rozhraní černá / bílá nedojde k zámkům a nejasnému vyhodnocení stavu. Vhodným nastavením vyhodnocovacího obvodu je možno přiřadit černé a bílé barvě jednoznačnou logickou úroveň L a H a předejít tak „záhadným“ chybám v následných obvodech, nebo můžete výstup vyhodnocovacího obvodu přímo používat pro své účely.

Zapojení s časovačem 555

Základní vlastnosti

Napájecí napětí: +5 V

Rozsah detekce: 1,5 až 4,5 mm podle nastavení R3 a typu připojeného senzoru



Popis zapojení

Zde je využito jedno z netradičních zapojení oblíbeného časovače 555. Časovač je v tomto případě zapojen jako schmittův klopný obvod se značnou hysterezí (rozdílem mezi zapínacím a vypínacím napětím). Výstup (OUT) zapojení přechází do vypnutého stavu při zmenšení vstupního napětí na spojených pinech 2 a 6 pod $1/3$ napájecího napětí a do zapnutého stavu při překročení $2/3$ napájecího napětí. Aby ještě nebylo dosti neobvyklostí, jako výstup se v tomto případě používá pin číslo 7, na který je uvnitř obvodu připojen kolektor tranzistor, který je v běžných zapojeních obvodu 555 používán k vybíjení časovacího kondenzátoru. Standardní výstup na pinu 3 je použit jen k ovládní indikační LED.

Rezistorem R1 je nastaven proud, tekoucí infračervenou vysílací LED, umístěnou v reflexním senzoru, na přibližně 4,5 mA při napájecím napětí 5V. Přijímací fototranzistor uvnitř senzoru je zapojen se společným kolektorem, v obvodu emitoru je zapojena sériová kombinace rezistoru R2 a proměnného rezistoru (trimru) R3. Znamená to tedy, že na emitoru přijímacího fototranzistoru se mění napětí lineárně s osvětlením a je tedy rozdílné, pokud se senzor nalézá odraznou plochou černé nebo bílé barvy. Proměnný rezistor dovoluje měnit citlivost senzoru a tím upravit vzdálenost, na kterou se budou barvy ještě detekovat.

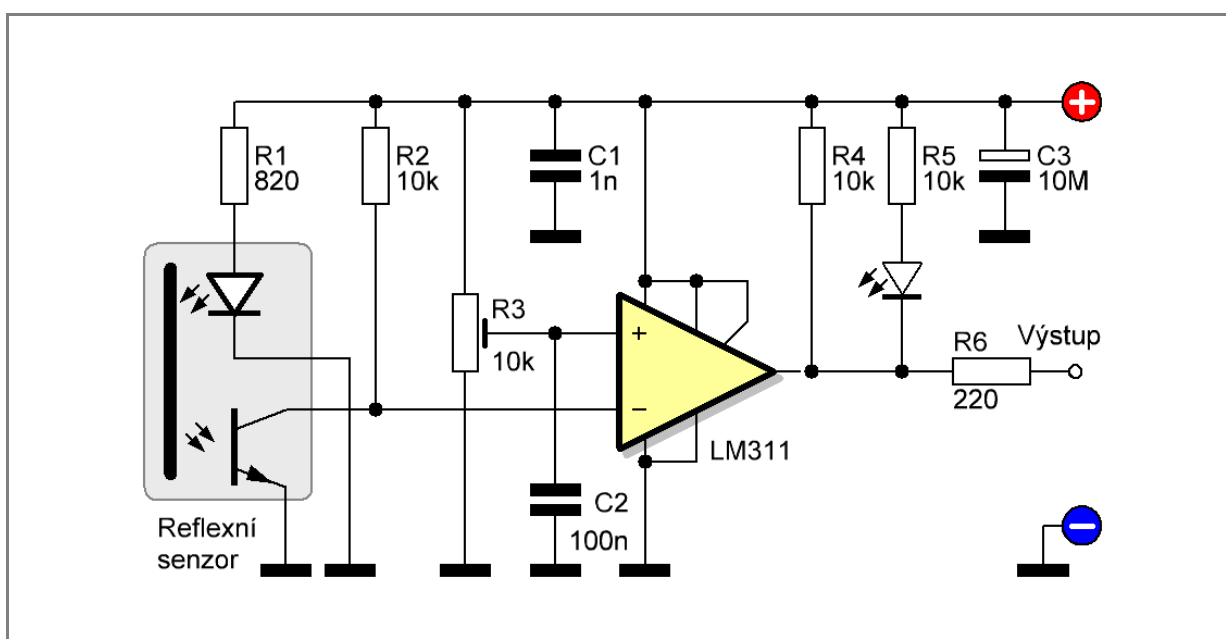
Rezistory R4 a R6 jsou ochranné a zabraňují přetížení obvodu 555 v mezních situacích, rezistor R5 je kolektorovým odporem pro tranzistor, nacházející se ve vnitřní struktuře obvodu 555 a rezistor R7 určuje proud indikační LED. Kondenzátory C1 a C3 filtrují napájecí napětí obvodu a jsou důležité pro jeho správnou činnost a kondenzátor C2 filtruje napájení vnitřního děliče v integrovaném obvodu.

Zapojení s komparátorem LM311

Základní vlastnosti

Napájecí napětí: +5 V

Rozsah detekce: 1 až 10 mm podle nastavení R3 a typu připojeného senzoru



Popis zapojení

Pro vyhodnocení výstupního napětí fototranzistoru reflexního senzoru je v tomto případě použit přesný integrovaný komparátor LM311 ve standardním zapojení.

Rezistorem R1 je nastaven proud, tekoucí infračervenou vysílací LED, umístěnou v senzoru, na přibližně 4,5 mA při napájecím napětí 5 V. Přijímací fotoranzistor uvnitř senzoru je zapojen se společným emitorem, hodnota kolektorového rezistoru R2 je vybrána tak, aby fototranzistor pracoval s dobrou účinností v největším možném rozsahu osvětlení. S hodnotou tohoto rezistoru je možno experimentovat, nedoporučuje se ale zmenšovat jeho hodnotu pod 1k.

Prahová rozhodovací úroveň, tedy napětí, při kterém se překlápí výstup obvodu LM311 při přechodu mezi černou a bílou barvou se nastavuje proměnným rezistorem R3 v celém rozsahu napájecího napětí, tedy 0 až 5 V. Mezi výstupem obvodu LM311 a napájecím napětím je zapojen rezistor R4, který zlepšuje napěťové úrovně v logickém stavu H a paralelně k němu je zapojena sériová kombinace R5 a D1, která svým svitem signalizuje stav na výstupu. Rezistor R6 chrání výstup obvodu LM311 před přetížením.

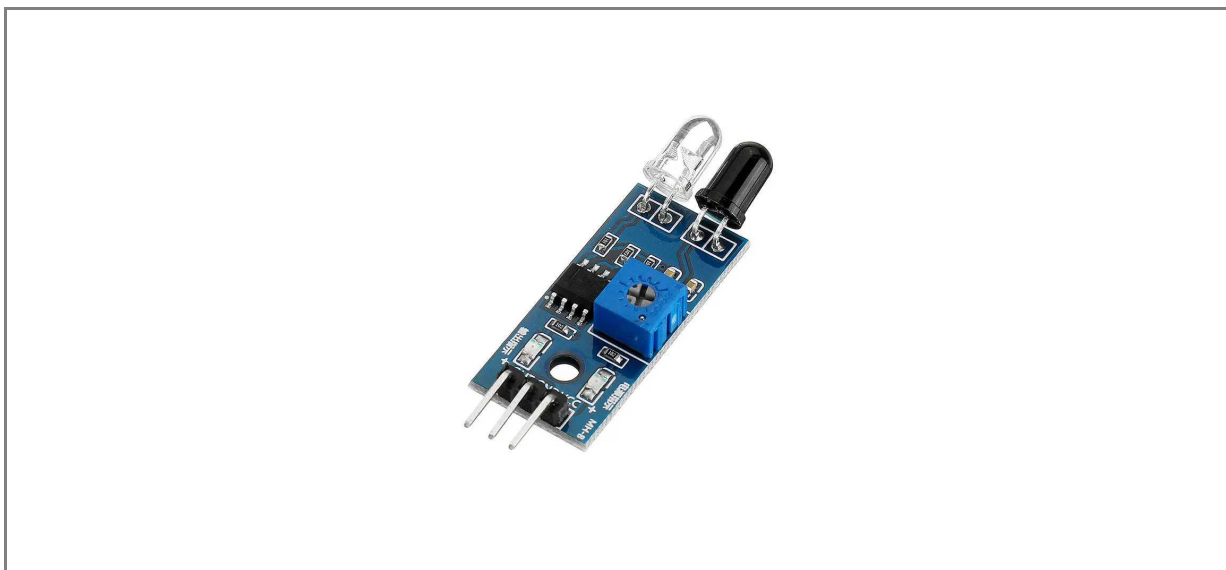
Zapojení s komparátorem LM393

Základní vlastnosti

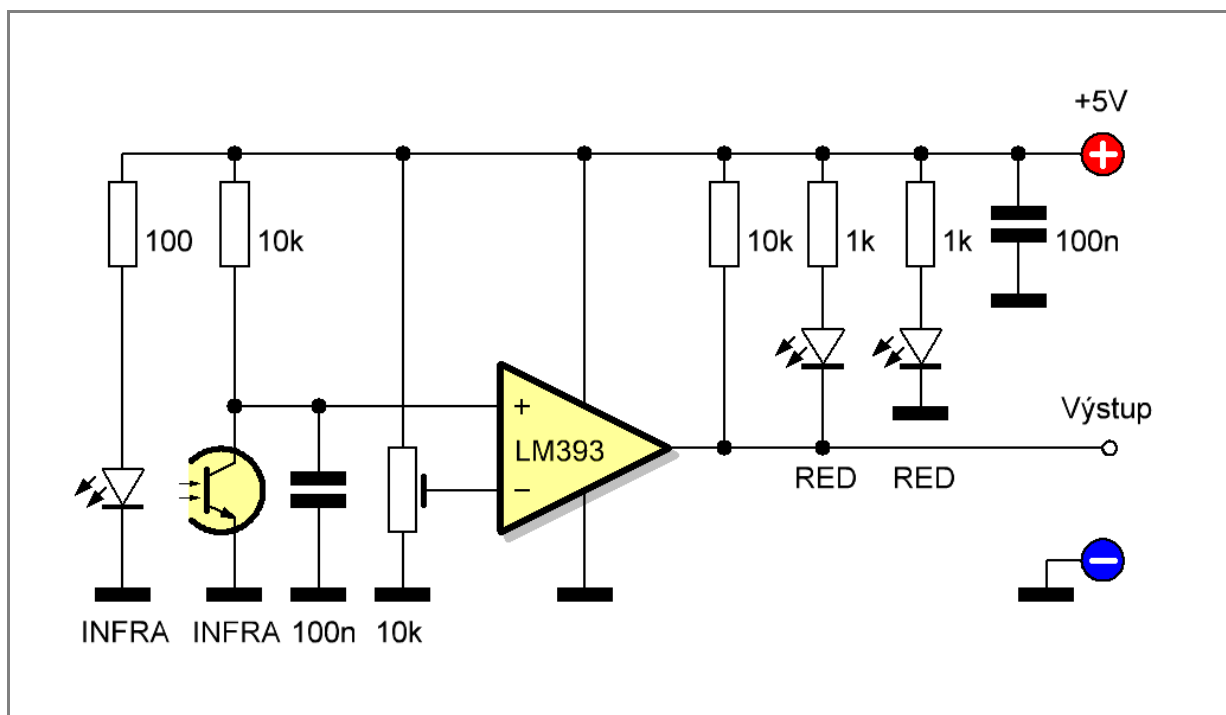
Napájecí napětí: +3,3 nebo 5 V

Rozsah detekce: 2 až 5 mm podle nastavení proměnného rezistoru

Na trhu je k dispozici elektronický modul v zapojení, podobném tomu předchozímu, který místo zapouzdřeného senzoru obsahuje jen samostatnou IR LED a IR fototranzistor. Použitý komparátor ale ani zdaleka nedosahuje kvalit obvodu LM311 z předchozího zapojení.



Elektrické schéma:



Zapojení se zdrojem proudu

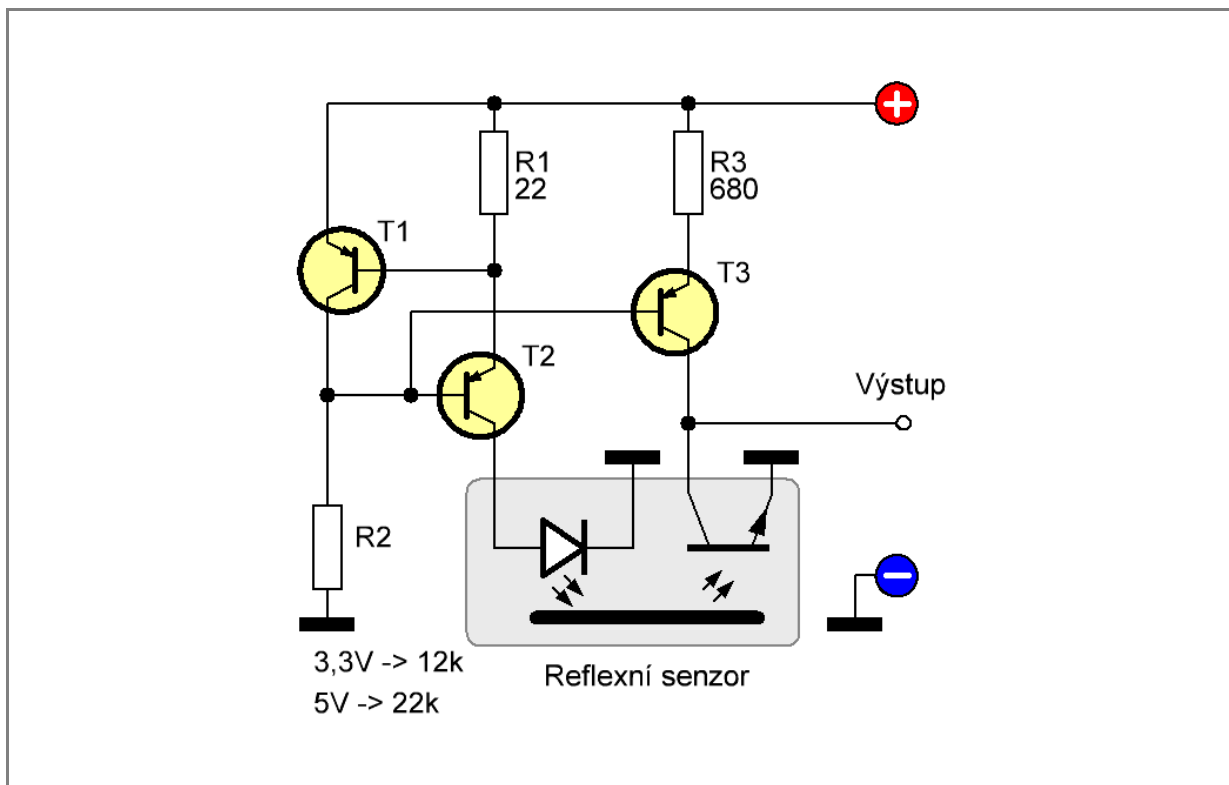
Základní vlastnosti

Napájecí napětí: +3,3 nebo 5 V

Bod překlopení: přibližně 5 mm od bílé odrazné plochy podle typu připojeného senzoru

Popis zapojení

Další z variant zapojení reflexního čidla. Abyste pochopili výhody tohoto zapojení, čtěte následující řádky pozorně; z prvního pohledu do schématu nemusí být princip zcela patrný.



Základem zapojení je klasický zdroj proudu, sestavený z tranzistorů T1 a T2, a rezistorů R1 a R2. Bez dalších součástek by přes LED reflexního čidla tekla konstantní proud o velikosti, dané poměrem $V_{be}/R1$. V tomto případě ale, díky zapojení T3 a díky hodnotě rezistoru R2, se proud tekoucí LED mění ve značném rozsahu podle toho, zda je fototranzistor v senzoru otevřen nebo uzavřen. Pokud není detekován odraz, fototranzistor je uzavřen, rezistorem R2 teče proud z R3 přes bázi T3 a tím se následně přivírá tranzistor T2. Při předepsaných hodnotách součástek je v tomto případě proud LED v senzoru necelých 5 mA; podle použitých tranzistorů se jeho hodnota může lišit o desetiny mA. V okamžiku detekce odrazu IR světla se fototranzistor otevírá, kolektorem T3 začne protékat proud, proud, tekoucí z báze T3 do R2 značně poklesne, T2 se otevírá a proud tekoucí LED v senzoru vzroste na hodnotu přibližně 25 mA. Tím, že při detekci odrazu narůstá proud LED, se fototranzistor senzoru ještě více otevírá. Tento tranzistor má v kolektoru zapojen proudový zdroj, dodávající proud zhruba 1 mA, protože T3 se stává při otevřeném fototranzistoru v senzoru proudovým zrcadlem. Díky tomuto proudovému zdroji má fototranzistor v OC1 snahu být buď zcela otevřen, nebo zcela uzavřen. Ale, zcela přesně řečeno, otevíráním fototranzistoru

v OC1 roste i proud kolektorem T3 až do velikosti přibližně 1 mA a tím je popsán efekt přibrzděn. Zóna neurčitosti detekce u tohoto zapojení tedy existuje, ale je velice úzká a při správném umístění senzoru nezpůsobí potíže.

Pokud bychom popsáný efekt nepožadovali, stačí změnit hodnotu rezistoru R2 na 1k, proud tekoucí LED v senzoru pak bude stále téměř konstantní. Změnou hodnoty rezistoru R1 lze nastavit požadovanou velikost proudu.

Zapojení může pracovat s různými napájecími napětími. Pro běžná napájecí napětí 3,3 V a 5 V je třeba změnit jen velikost rezistoru R2 tak, aby v obou případech pracovalo zapojení s proudy LED v senzoru přibližně 5 mA a 25 mA. Bylo vyzkoušeno, že při proudu 5 mA, tekoucím přes LED v senzoru je detekce bílého papíru do vzdálenosti zhruba 5 mm naprosto bezproblémová.

Tranzistory T1, T2 a T3 jsou libovolné univerzální PNP. Výstup, poskytuje (bez zatížení) napětí 200 mV při detekci odrazu, bez detekce se výstupní napětí blíží napětí napájecímu. Hlavní výhodou tohoto zapojení je minimalizace spotřeby elektrické energie ve stavu, kdy není detekován odraz, což je výhodné zejména při napájení z baterií nebo akumulátorů.

Zapojení s hysterezí

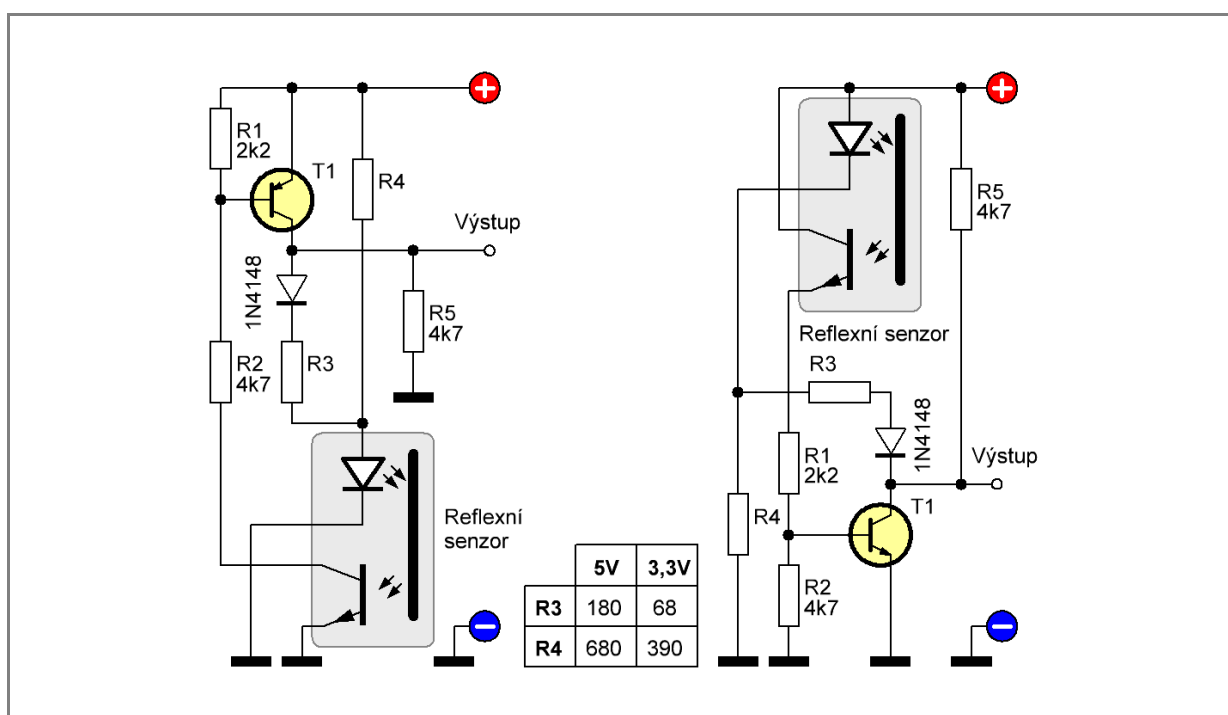
Základní vlastnosti

Napájecí napětí: +3,3 nebo 5 V

Bod překlopení: přibližně 5 mm od bílé odrazné plochy

Popis zapojení

V tomto jednoduchém zapojení odpadá jakákoli nerozhodnost čidla. Výstupem je buď vysoká a nebo nízká logická úroveň. Způsobuje to hystereze, o níž se zmíníme dále.



Nejprve si řekněme, proč jsou na obrázku dvě zapojení, která se zdají téměř identická a liší se jen použitím tranzistoru PNP a, NPN.

Zapojení s PNP tranzistorem má výhodu v tom, že dva vývody reflexního čidla OC1 jsou spojeny se zemí. Výstupem obvodu je otevřený kolektor s pull-down rezistorem R5. Výstupní úroveň poskytuje tvrdou log.1, zatímco log.0 je dosaženo pull-down rezistorem R5. Při detekci odrazu je na výstupu log.1.

Zapojení s NPN tranzistorem má dva vývody reflexního čidla OC1 spojeny se kladným napájecím napětím, což nemusí vždy konstruktérům vyhovovat. Výstupem obvodu je otevřený kolektor s pull-up rezistorem R5. Výstupní úroveň poskytuje tvrdou nízkou úroveň. Při detekci odrazu je na výstupu log.0.

Obě zapojení je možno připojit ke vstupu běžných mikrokontrolerů nebo logických integrovaných obvodů, obě poskytují bez zátěže logické úrovně lišící se od napájecího napětí maximálně v řádu desítek milivoltů. Hodnoty součástek jsou na schématu uvedeny pro napájecí napětí 5 V a 3,3 V.

Obvod pracuje tak, že pokud není tranzistor T1 dostatečně osvětlen (není detekován odraz) je uzavřen a LED teče proud přibližně 5 mA. Při detekci odrazu se začne tranzistor T1 otevírat, zvyšujícím se proudem, tekoucím LED se zvyšuje intenzita jejího svitu a tím se více otevírá fototranzistor v senzoru, pokračuje otevírání T1 až do doby, kdy LED bude protékat proud přibližně 20 mA. Tento děj proběhne velmi rychle, protože přes sensor byla zavedena kladná zpětná vazba a dojde ke skokovému otevření T1. V okamžiku, kdy sensor přestane odraz detekovat se tranzistor T1 zavírá a LED teče opět proud 5 mA. Proud v klidovém stavu (oněch 5 mA) je dán hodnotou rezistoru R4 a napájecím napětím a proto je jeho hodnota pro různá napájecí napětí různá. Maximální proud LED ve okamžiku detekce odrazu je nastaven rezistorem R3 a platí o něm totéž co o R4.

Rezistory R1 a R2 spolu vytváří napěťový dělič a určují citlivost zapojení k detekci odrazu. Zvýšením hodnoty R1 bude detekce odrazu citlivější a naopak.

Určitě mnohé napadlo, proč výstup není vyveden z kolektoru fototranzistoru senzoru a co v zapojení dělá D1 a R5? Na kolektoru fototranzistoru v senzoru je napětí úměrné odrazu IR světla. Na kolektoru T1 napětí buď vysoké, nebo nízké, nic mezi. Bez D1 by výstupní napětí nedosahovalo rozkmitu celého napájecího napětí, protože LED teče stále proud. D1 způsobí, že na výstupu je buď napětí z kolektoru T1, nebo je výstup zcela odpojen. Rezistor R5 při zavřeném T1 poskytne správnou logickou úroveň (nízkou nebo vysokou, podle volby zapojení s PNP nebo NPN tranzistorem).

Otestovat hotové zapojení můžete tak, že sensor pomalu přibližujete k bílému kancelářskému papíru tak dlouho, až se na výstupu změní logická úroveň na výstupu. Nyní sensor od papíru oddalujete do té doby, dokud se logická úroveň na výstupu opět nezmění. Změna proběhne skokem, vzdálenost k přiblížení a oddálení se liší, což je právě zmíněná hystereze.