2.2 AMPLITUDNA MODULACIJA

Pri amplitudni modulaciji se amplituda nosilnega signala spreminja skladno z modulirajočim signalom. Frekvenca nosilca ostaja približno stalna. Pri analogni amplitudni modulaciji se zato ovojnica izhodnega signala spreminja v skladu z informacijo.

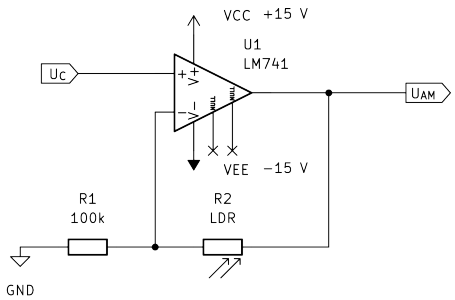
2.3 Analogna izvedba z ojačevalnikom in LDR

Amplitudo nosilnega signala lahko spreminjamo tudi s spreminjanjem ojačenja. V vezju na sliki 1 je LM741 vezan kot neinvertirajoči ojačevalnik. Nosilni signal $U_{\mathrm{c}}(t)$ priključimo na neinvertirajoči vhod. Upor R_1 povezuje invertirajoči vhod z maso, svetlobno odvisni upor LDR pa je v povratni zvezi med izhodom in invertirajočim vhodom. Osvetljenost LDR tako spreminja ojačenje in s tem amplitudo izhodnega nosilca.

Za idealni operacijski ojačevalnik velja:

$$U_{\mathrm{AM}}(t) = \left(1 + \frac{R_{\mathrm{LDR}}}{R_1}\right) U_{\mathrm{c}}(t).$$

Ko se osvetljenost poveča, se upornost LDR praviloma zmanjša, zato se zmanjša tudi ojačenje; pri manjši osvetljenosti se ojačenje poveča. Če osvetljenost spreminjamo dovolj počasi glede na nosilni signal, se spreminja ovojnica izhodnega signala. To je preprosta ponazoritev amplitudne modulacije s svetlobno krmiljenim ojačenjem, ne pa splošni hitri elektronski množilnik. LDR je počasen in nelinearen element, LM741 pa ima omejeno pasovno širino ter izhodni razpon; zato vezje ni primerno za hitro komunikacijsko modulacijo. LM741 v prikazani izvedbi napajamo z dvopolarnim napajanjem, na primer $V_{\mathrm{CC}} = +15\,\mathrm{V}$ in $V_{\mathrm{EE}} = -15\,\mathrm{V}$. Podrobnosti o priključkih in omejitvah so v podatkovnem listu LM741 (TI, PDF).



Slika 1: Neinvertirajoči ojačevalnik LM741 z LDR v povratni zvezi; osvetljenost spreminja ojačenje nosilnega signala.

Pri načrtovanju preverimo, da vhodni in izhodni signali ostanejo v dovoljenem območju ojačevalnika

ter da izhod ne preide v nasičenje. Pri prenosu z LED lahko informacija prav tako spreminja amplitudo oddane svetlobe, če spreminja tok LED v ustreznem delovnem območju; to je povezano z analognim optičnim prenosom iz prejšnjega poglavja.

2.4 Digitalno preklapljanje amplitude

Amplitudo nosilnega signala lahko preklapljamo tudi z digitalnim vezjem. Če na ena vhodna vrata IN priključimo pravokotni nosilni signal, na druga pa podatkovni signal D, dobimo:

$$b_{\mathrm{izh}}(t) = b_{\mathrm{c}}(t) \wedge D(t),$$

kjer $b_{\mathrm{c}}(t)$ in $D(t)$ predstavljata logični stanji nosilca in podatkovnega signala, znak $\wedge$ pa logično operacijo IN.

Pri $D = 1$ se na izhod prenese pravokotni nosilni signal, pri $D = 0$ pa je izhodna amplituda nič. Gre za vklopno-izklopno kodiranje (OOK), ki je posebna oblika digitalne amplitudne modulacije ASK. Vrata IN ne spreminjajo frekvence nosilca, temveč ga glede na podatkovni bit prepuščajo ali zatrejo. Ta razlaga velja za digitalni, pravokotni nosilni signal; za sinusni nosilec bi potrebovali analogno preklopno ali množilno vezje.

2.4.1 Primer: prenos znaka M iz Arduina do sprejemnika TSOP1738

Podatkovni signal lahko zagotovimo z UART-om krmilnika Arduino Uno. Na priključku TX je v mirovanju logična 1, začetni bit pa je 0. Na sliki 2 sta prikazana dva načina, kako UART-signal in nosilec s frekvenco 38 kHz povežemo z logičnimi vrati. Zgornji primer uporablja vrata IN in je namenjen predvsem razlagi delovanja amplitudnega preklopa. Spodnji primer uporablja vrata NE-ALI (NOR) in je primernejši za oddajanje proti sprejemniku TSOP1738.

$$b_{\mathrm{IN}}(t) = b_{\mathrm{TX}}(t) \wedge b_{\mathrm{c}}(t), \qquad b_{\mathrm{NOR}}(t) = \neg\left(b_{\mathrm{TX}}(t) \vee b_{\mathrm{c}}(t)\right).$$

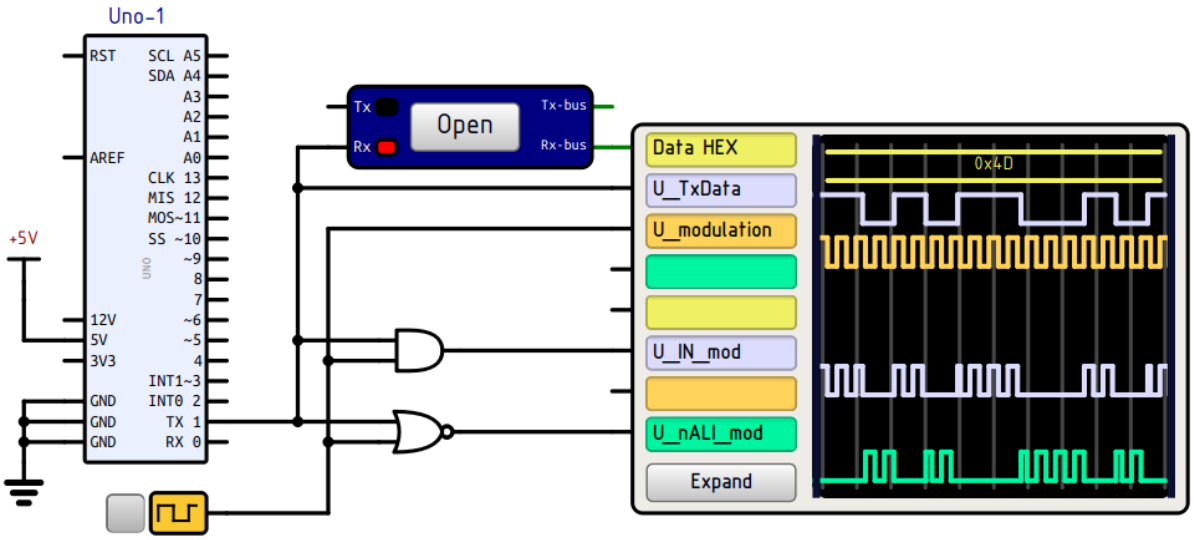
Pri prikazanih vratih IN se nosilec prenese na izhod, kadar je TX na 1. To jasno pokaže logično operacijo IN, vendar bi se pri mirovnem stanju UART-a nosilec oddajal neprekinjeno. Za TSOP1738 so primerna tudi vrata IN, če pred njimi invertiramo signal TX:

$$b_{\mathrm{IR}}(t) = b_{38\,\mathrm{kHz}}(t) \wedge \neg b_{\mathrm{TX}}(t).$$

Druga ustrezna možnost so prikazana vrata NE-ALI. Po De Morganovem pravilu njihov izhod zapišemo tudi kot $b_{\mathrm{NOR}} = \neg b_{\mathrm{TX}} \wedge \neg b_{\mathrm{c}}$. Obe izvedbi oddajata izbruhe med stanjem TX = 0, med mirovnim stanjem

UART-a in biti 1 pa je izhod nizek in oddajna LED ne sveti. Razlikujeta se v fazi nosilca znotraj izbruhov: pri vratih NE-ALI je nosilec invertiran. Ker TSOP1738 zaznava ovojnico izbruhov nosilca s frekvenco 38 kHz, sta zanj primerni obe možnosti.

Na logičnem analizatorju na sliki so prikazani signal TX mikrokrmilnika (U_{TxData}), nosilni signal ($U_{\mathrm{modulation}}$), oba modulirana izhoda ($U_{\mathrm{IN_mod}}$ in $U_{\mathrm{NALI_mod}}$) ter vrednost prenesenega podatka v šestnajstiškem zapisu: `0x4D`, kar je znak `M`.



Slika 2: SimulIDE vezje z Arduinom, vrati IN in NE-ALI ter logičnim analizatorjem. Analizator prikazuje UART TX, 38 kHz nosilec, oba modulirana signala in podatek 0x4D (M).

Za znak `M` (ASCII 77, 01001101_2) UART pošlje začetni bit 0, podatkovne bite v vrstnem redu od najmanj pomembnega: $1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0$, in nato zaključni bit 1. Pri obeh izvedbah za TSOP1738 se nosilni izbruhi zato oddajajo med začetnim bitom in podatkovnimi biti z vrednostjo 0. Sprejemnik iz teh izbruhov obnovi logični signal: njegov izhod je med sprejetim nosilcem nizek, v presledkih pa visok, zato se ujema z običajno UART-logiko.

Za ta preprost prikaz nastavimo UART na 1200 bit/s, na primer z `Serial.begin(1200);`, nato pa pošljemo znak z `Serial.write('M');`. Pri 1200 bit/s traja en bit približno $0,833\,\mathrm{ms}$, kar pri 38 kHz ustreza približno 32 periodam nosilca. Podatkovni list navaja, da naj izbruh vsebuje vsaj 10 period nosilca, po izbruhu, dolgem od 10 do 70 period, pa naj sledi presledek vsaj 14 period. Za prikazani znak M so najdaljši neprekinjeni izbruhi dolgi dve bitni mesti, zato ta primer upošteva navedene omejitve. Običajna hitrost 9600 bit/s za tak neposredni način ni primerna: en bit bi obsegal le približno štiri periode nosilca. TSOP1738 podpira zvezni prenos do 2400 bit/s, vendar je treba pri višji hitrosti upoštevati tudi zakasnitve in raztezanje izhodnih impulzov ter sprejem praktično preizkusiti. Poljubno zaporedje

bajtov lahko ustvari daljši neprekinjeni izbruh, zato bi za zanesljiv splošni prenos potrebovali kodiranje, ki zagotavlja dovolj dolge presledke.

Program 1: AMuK UART TSOP1738.

```
void setup() {
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  Serial.begin(1200);
}

void loop() {
  delay(100);
  Serial.print("M");
}
```

TSOP1738 vsebuje fotodiodo, ojačevalnik in demodulator z ozkopasovnim filtrom za nosilec 38 kHz. Napaja se z napetostjo $4,5$–$5,5\,\mathrm{V}$; tipični napajalni tok je približno $0,6\,\mathrm{mA}$. Priključek 1 je GND, priključek 2 napajanje V_S, priključek 3 pa izhod OUT. Izhod je združljiv s TTL in CMOS ter aktiven na nizkem nivoju. Proizvajalec priporoča razklop napajanja in opozarja na vpliv dolžine izbruhov, presledkov ter motilne svetlobe. Več podatkov je v podatkovnem listu TSOP17.. proizvajalca Vishay (PDF).

Vrata IN oziroma NE-ALI naj krmilijo tranzistor, ki zagotovi potreben tok skozi infrardečo LED; LED naj ima ustrezen zaporedni upor. Izhoda logičnih vrat ne obremenimo neposredno z velikim tokom LED. Pri sestavi moramo upoštevati še pravilno razporeditev priključkov izbranega ohišja TSOP1738.

Digitalno vklapljanje in izklapljanje pravokotnega nosilca z vrati IN.

Slika 3: Digitalno vklapljanje in izklapljanje pravokotnega nosilca z vrati IN.

2.5 Povzetek

- Pri analogni amplitudni modulaciji informacija spreminja ovojnico nosilnega signala.
- Pri ojačevalniku z LDR osvetljenost spreminja ojačenje in s tem amplitudo nosilca.
- Digitalna vrata IN lahko pravokotni nosilec preklapljajo med polno amplitudo in ničlo; tako nastane OOK oziroma posebna oblika ASK.
- Pri UART-prenosu do TSOP1738 je treba upoštevati mirovni nivo UART-a, aktivno-nizek izhod sprejemnika ter najmanjše dolžine izbruhov in presledkov.

2.6 Vprašanja za preverjanje

1. Katera lastnost nosilca se spreminja pri amplitudni modulaciji?

2. Kako osvetljenost LDR vpliva na ojačenje vezja z LM741?
3. Zakaj pred vrati IN invertiramo signal TX iz UART-a?
4. Zakaj pri neposrednem prenosu z nosilcem 38 kHz izberemo dovolj nizko hitrost UART-a?