

Teória a prax USB nabíjačiek

Miroslav Cina

USB nabíjačka vyzerá na prvý pohľad v podstate ako každá iná „obyčajná“ nabíjačka, len s iným káblom či konektorom na konci. Na prvý pohľad by sa teda mohlo zdať, že namiesto na nízkonapäťový konektor je napätie privedené na USB konektor, a to je celý zázrak. Až také jednoduché to však nie je...

Typy a zapojenie USB konektorov

Pre začiatok si v stručnosti zhrnieme, aké sú štandardizované typy USB konektorov a ako sú zapojené. Z nášho prehľadu vypustíme štandard USB 3.0, pretože tie sú pre danú problematiku viac-menej nezaujímavé (až na malé výnimky spomenuté neskôr). Používaných 6 typov je možné rozdeliť podľa dvoch kritérií:

1. zariadenie, na ktorom sú umiestnené:
 - Konektor „typ A“ je používaný na zariadeniach typu host/master (napr. počítač, alebo aj nabíjačka), prípadne USB hub.
 - Konektor „typ B“ využívajú periférie/slave (napr. skener, HDD) a mobilné zariadenia (telefóny, tablety, ...).
2. veľkosť konektora:
 - Konektory existujú v 3 rozličných veľkostiach: štandardná veľkosť, mini alebo micro.

Za spomenutie snáď stojí, že mini a micro konektory majú 5 pinov, na rozdiel od štandardného rozmeru, ktorý používa len 4. Tento pin navyše využívajú tzv. OTG-zariadenia („On-the-Go“) [7], ako napríklad mobilné telefóny, USB prehrávače a pod., ktoré sa na USB rozhranie vedú tváriť ako „slave“ alebo „master“. Slave zariadenie znamená, že sa po pripojení ku PC predstavujú v podstate ako „USB stick“, na rozdiel od „master“, ktoré umožňujú pripojiť napr. externý USB stick,

z ktorého je možné hoci prehrávať hudbu.

Tento pin je taktiež využívaný pri docking stations pri dobíjaní – ako bude naznačené neskôr.

Zopár pojmov

Celý problém dobíjania mobilných prístrojov cez USB spočíva v tom, že mobilné zariadenia je možné dobíjať buď z USB portu, napríklad počítača (alebo hubu), ale tiež prostredníctvom nabíjačky. Na USB rozhraní je definované stabilizované napätie 5 V bez ohľadu na pôvod rozhrania. Odobieraný prúd – a to aj pri dobíjaní – je daný pripojeným zariadením, nesmie však presiahnuť povolené hodnoty, a tie sú pre každý typ USB portu iné. Keďže mobilné zariadenie reguluje dobíjací prúd samo, musí najprv zistiť, s kým má tú česť...

Ako sa to celé deje a čo musí (mal by) USB port a mobilné zariadenie spĺňať a poznať, je popísané v [1] a [2]. Ja sa na tomto mieste pokúsim o stručné zhrnutie daných špecifikácií. Takže začneme niekoľkými pojmami.

Attach versus Connect

V princípe sa rozlišujú dva kvalitatívne odlišné spôsoby pripojenia: „Attach“ a „Connect“. Zjednodušene povedané, „attach“ predstavuje fyzické prepojenie USB káblom (bez akejkoľvek komunikácie) – hoci len pripojenie Vbus a GND, pričom „connect“ znamená navyše pripojenie dátových vodičov a minimálne pokus o detekciu prostredia.



Nabíjací USB Port (Charging Downstream Port – CDP)

Nabíjacím USB portom nazývame každý port na zariadení (napr. PC) zodpovedajúci USB2.0 špecifikácii hostu alebo hubu (podporujúceho dátový prenos), ktorý navyše spĺňa podmienky pre dobíjanie prenosných zariadení špecifikované v [1]. CDP musí byť schopný poskytnúť nabíjací prúd až do 1,5 A.

Špecializovaný nabíjací port (Dedicated Charging Port – DCP)

DCP je každý port na zariadení (zvyčajne špecializovanej nabíjačke) poskytujúci napätie na dobíjanie prenosného zariadenia prostredníctvom USB konektora, ktorý však nie je schopný žiadneho dátového prenosu. DCP poskytuje dobíjací prúd do 0,5 A, pri prípadnom znížení výstupného napätia až do 1,5 A.

Accessory Charger Adapter (ACA)

je prístroj, ktorý umožňuje pripojiť ku prenosnému zariadeniu (napr. smartfónu) iné zariadenie – napríklad headset, či externý zosilňovač pri prehrávaní hudby a súčasne dobíjačku.

Ničmenej, v našom prehľade sa týmto typom USB dobíjacieho portu nebudeme zaoberať.

Nabíjací port (Charging Port – CP)

Pod pojmom nabíjací port (Charging Port (CP)) chápeme akýkoľvek USB port typu CDP (nabíjací USB port), DCP (špecializovaná nabíjačka) príp. ACA.

Štandardný USB Port (Standard Downstream Port – SDP)

Je v podstate akýkoľvek USB port zodpovedajúci USB 2.0 špecifikácii umožňujúci dátový prenos – môže to byť priamo host alebo port na USB hube.

Z hľadiska prúdového zaťaženia platí, že USB zariadenie môže odo-

Tab. 1. Typy USB konektorov a zapojenie vývodov

	typ konektora	pin	označenie	farba kábla	popis
štandardné konektory	typ A	1	Vbus	červený (príp. oranžový)	+5 V
		2	D-	biely (zlatý)	Data-
mini konektory	mini-A	3	D+	zelený	Data+
		4	GND	čierny (modrý)	0 V
micro konektory	micro-AB	4	ID	bezfarebný	OTG typ pripojenia: master (ID = log. 0) slave (ID = floating) [7]
		5	GND	čierny	0 V

berať max. 2,5 mA v prípade pripojenia „attach“, odoberaný prúd nesmie presiahnuť 100 mA (150 mA pri USB 3.0) pri „connect“, prípadne 500 mA (900 mA pre USB 3.0), pokiaľ je to „dohodnuté“. Dohodnuté znamená, že zariadenie po pripojení požiada host o možnosť odoberať vyšší prúd ako 100 mA a host požiadavku potvrdí.

Vlastnosti CP budú popísané neskôr.

Rozpoznanie typu nabíjacieho portu

Dá sa povedať, že absolútny strop pre dobíjací prúd definovaný v USB špecifikácii samotnej (5A) je v praxi nedosiahnuteľný, pretože je obmedzený mechanickými vlastnosťami konektorov, pre USB 2.0 je to 1,5 A. Napriek tomu mobilné zariadenie musí po pripojení v prvom rade rozpoznať, ku akému typu portu je pripojené, pretože od toho závisí, aký maximálny dobíjací prúd (ale ako uvidíme neskôr – aj očakávané napätie) je prípustný.

Obr. 1 popisuje 5 krokov (spolu so znázornením potrebného hardvéru) na identifikáciu typu USB portu.

Za zmienku snáď stojí, že na trhu je tiež možné nájsť špecializované obvody „Charger Detection Device“ na použitie v mobilných zariadeniach, ktoré implementujú tento algoritmus – ako napr. BQ24392 od TI [8]. Čiže, pokiaľ sa chystáte postaviť vlastné mobilné zariadenie, nemusíte detekciu vymýšľať nanovo – stačí využiť napríklad spomenutý obvod...

1. Detekcia pripojenia (Vbus Detect)

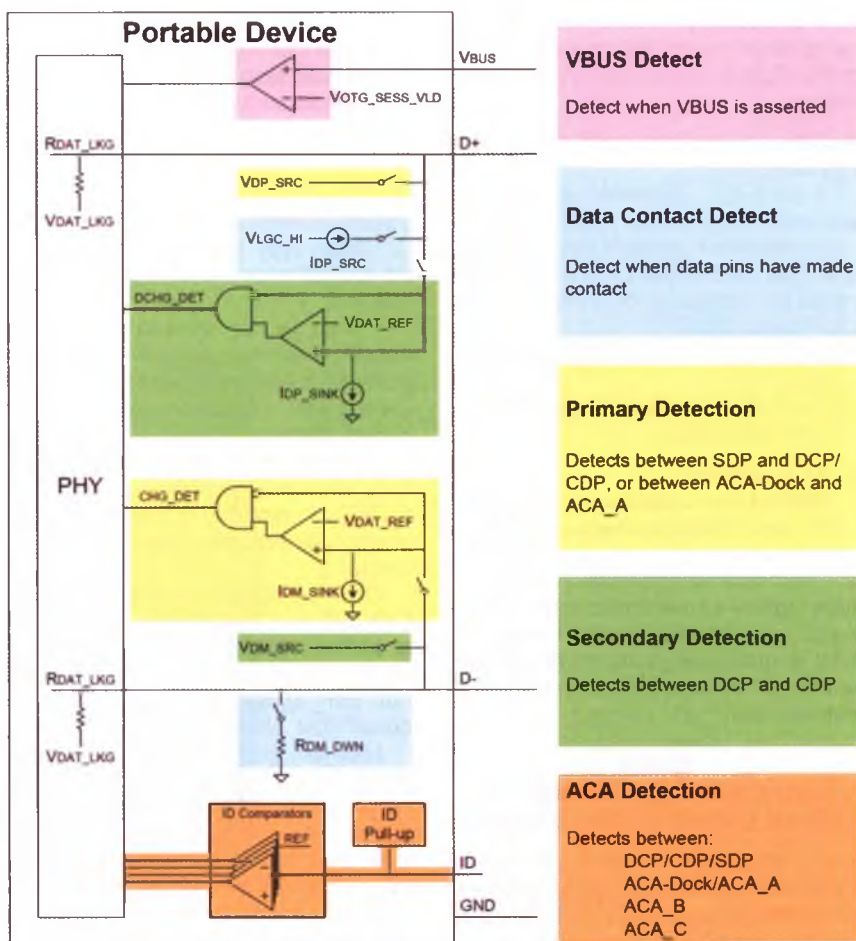
Prvý krok je detekcia prítomnosti napájania (stav „attach“). V momente zasunutia konektora do portu sa objaví medzi pinmi Vbus a GND napätie. Prítomnosť tohto napätia musí byť zistená mobilným zariadením. K tomuto účelu by malo byť mobilné zariadenie vybavené komparátorom s referenčným napätím 0,8 až 4,0 V, ktoré sa porovnáva s napätím pinu Vbus.

2. Detekcia pripojenia dátových pinov (Data Contact Detect)

Pokiaľ sa zblízka pozrieme na mechanické prevedenie USB konektorov je zrejmé, že pri pripojení zariadenia na USB port prostredníctvom „Standard-A“ konektoru sú najprv pripojené piny 1 a 4 (Vbus a GND) a až neskôr D+ a D-. Tento rozdiel môže predstavovať až niekoľko stoviek ms.



Obr. 2. Pripojenie USB portu



Obr. 1. Rozpoznanie typu nabíjacieho portu

Preto každé mobilné zariadenie skôr ako začne zisťovať, na aký port je to vlastne pripojené, by si malo byť isté, že popri pripojení Vbus a GND sú taktiež pripojené dátové piny.

Bez popisovania detailov – zjednodušene povedané, mobilné zariadenie pripojí „D+“ na logickú jednotku a „D-“ na logickú nulu a potom čaká, kým sa na „D+“ objaví logická „0“ – čo určitým spôsobom zabezpečí každý typ USB-kompatibilného portu či nabíjačky.

Pokiaľ týmto spôsobom zariadenie nie je schopné rozpoznať kontakt dátových pinov v preddefinovanom čase (300 až 900 ms) od „attach“, zariadenie pokračuje napriek tomu ďalším krokom – tzv. primárnou detekciou.

Pozn.: nie všetky mobilné zariadenia tento krok podporujú, v takomto prípade jednoducho počkajú potrebný čas (oných 300 až 900 ms), kým začnú s primárnou detekciou.

3. Primárna detekcia (Primary Detection)

Primárna detekcia slúži na rozlíšenie medzi SDP (štandardný USB port) a CP (nabíjací port). V tomto kroku zariadenie taktiež zistí, že je prípadne pripojené na port nespĺňajúci požiadavky USB špecifikácie (typickým príkladom je PS/2 port). Túto detekciu musí (malo by) podporovať každé mobilné zariadenie.

Primárna detekcia prebieha nasledovne:

Mobilné zariadenie aktivuje úroveň 0,5 až 0,7 V na D+. Pokiaľ sa jedná o nabíjací port (CDP alebo DCP), úroveň na D- bude vyššia ako 0,4 V. V opačnom prípade môže mobilné zariadenie predpokladať, že je pripojené ku štandardnému USB portu bez špeciálnej dobíjacej funkcie.

Niektoré mobilné zariadenia navyše porovnávajú úroveň D- s hranicou 0,8 V, a len pokiaľ je napätie nižšie ako táto hranica, povolí nabíjanie.

Pokiaľ by sme to zhrnuli: úroveň na D- musí byť v rozsahu od 0,4 do 0,8 V, pokiaľ je zariadenie pripojené k nabíjaciemu portu a menej ako 0,4 V, pokiaľ je pripojené ku štandardnému USB portu.

Dôvod pre rozpoznanie hranice 0,8 V je zabránenie prípadného poškodenia nekompatibilných portov. Príkladom môže byť PS/2 port s USB redukciami – pokiaľ mobilné zariadenie nepodporuje detekciu 0,8 V hranice, bude po pripojení ku PS/2 portu predpokladať, že je pripojené ku nabíjaciemu portu, pretože PS/2 pripojí D- na logickú 1 (čím je splnená podmienka „viac ako 0,4 V“), a môže sa snažiť využiť prúdu do 1,5 A domnievajúc sa, že je pripojené ku nabíjaciemu portu, čo môže PS/2 port poškodiť.

V priebehu primárnej detekcie sa nerozlišuje medzi typom nabíjacieho portu. Toto je úlohou sekundárnej detekcie.

4. Sekundárna detekcia (Secondary Detection)

V priebehu sekundárnej detekcie prenosné zariadenie pripojí – veľmi zjednodušene povedané – úroveň 0,5 V na dátový pin D- a podľa úrovne na D+ rozpozná, či je pripojené na DCP alebo CDP:

- $D+ = <0,25\text{ V} \rightarrow$ CDP (nabíjací USB port),
- $D+ = >0,25\text{ V} \rightarrow$ DCP (špecializovaná nabíjačka).

5. ACA Detection

Tento krok nepodporujú (a podľa USB špecifikácie ani nemusia podporovať) všetky typy mobilných zariadení a – ako som už spomínal – týmto typom portov sa na tomto mieste zaoberať nebudeme. Prezradím však, že toto je práve ten krok, ktorý využíva aj pin „ID“ prítomný na mini a micro B konektoroch.

Slabá alebo úplne vybitá batéria (Weak Battery / Dead Battery)

V prípade, že mobilné zariadenie kvôli stavu batérie už nie je schopné pracovať, príp. pracujú len základné funkcie, používa sa zjednodušený algoritmus detekcie typu portu.

V tejto situácii mobilné zariadenie smie odoberať z portu prúd do 100 mA po dobu maximálne 45 minút. Po uplynutí tohto času musí zariadenie spustiť detekciu portu, alebo sa odpojiť.

V každom prípade však ani zariadenie s „dead battery“ nesmie – zjednodušene povedané – preťažiť USB port pri pripojení (USB-IF compliance inrush test) [3].

Požiadavky na jednotlivé typy dobíjajúcich portov,

alebo čo treba zohľadniť pri návrhu vlastnej USB nabíjačky, či portu s dobíjacou funkciou.

Ako sme už spomínali, napätie medzi pinmi Vbus a GND predstavuje pre USB štandard +5 V, pričom povolená tolerancia je $\pm 5\%$ (pre USB 3.0 je tolerancia $\pm 5\%$ / -10%).

Zapojenie pinov D+, D- a ID záleží od typu portu.

Všeobecné požiadavky

Všetky typy dobíjajúcich portov musia spĺňať niekoľko základných podmienok.

Prvou je, že výstupné napätie nesmie v normálnej prevádzke za žiadnych okolností presiahnuť 6 V (overshoot), a to ani pri vypínaní či zapínaní portu.

Dobíjací port musí taktiež garantovať výstupné napätie na Vbus (oproti GND) v rozsahu -0,3 až +9,0 V pri akejkoľvek poruche portu (tzv. failure voltage).

Ďalšou požiadavkou je ochrana proti preťaženiu (či skratu). Každý dobíjací port môže obmedziť či vypnúť výstupný výkon, pokiaľ odoberaný prúd núti port opustiť povolenú pracovnú oblasť (tzv. shutdown operation).

Nabíjací port môže prinútiť pripojené prenosné zariadenie na opakovanie detekcie portu (detection renegotiation), a to tak, že zníži napätie na Vbus pod úroveň 0,7 V na dobu minimálne 100 ms a následne napätie obnoví na pôvodnú hodnotu. Pripojené zariadenie musí reagovať spustením primárnej detekcie.

Pokiaľ zariadenie disponuje viacerými dobíjacími portami použiteľnými paralelne, tieto sa nesmú navzájom nijako ovplyvňovať.

Charging Downstream Port (CPD)

CDP je v podstate plnohodnotný USB port, avšak so špeciálnou nabíjacou funkciou, čo znamená, že na rozdiel od Standard Downstream Portu dáva k dispozícii prúd až 1,5 A. Pracovná oblasť je definovaná grafom na obr. 3.

Znamená to, že CDP garantuje výstupné napätie 5 V s predpísanou toleranciou $\pm 5\%$ pri výstupnom prúde do 1,5 A.

V prípade preťaženia (odber vyššieho prúdu ako 1,5 A, prípadne skrat medzi Vbus a GND) CDP odpojí výstupné napätie, musí však byť schopný po odstránení preťaženia napätie v priebehu max. 2 minút obnoviť (tzv. shutdown operation).

CDP musí tiež zabezpečiť, že výstupné napätie sa nezmenší pod 4,1 V pri akejkoľvek skokovej zmene záťaže od 0 do 1,5 A (tzv. undershoot).

CDP je vybavený konektorom Standard-A.

Dedicated Charging Port (DCP)

DCP je vlastne USB nabíjačka ako ich poznáme, buď na sieťové napätie, alebo do auta. Toto zariadenie nepodporuje dátový prenos.

Špecializovaná USB nabíjačka musí garantovať výstupné napätie 5 V s predpísanou toleranciou $\pm 5\%$ pri výstupnom prúde do 500 mA a výstupné napätie minimálne 2 V pri výstupnom prúde od 500 do 1500 mA.

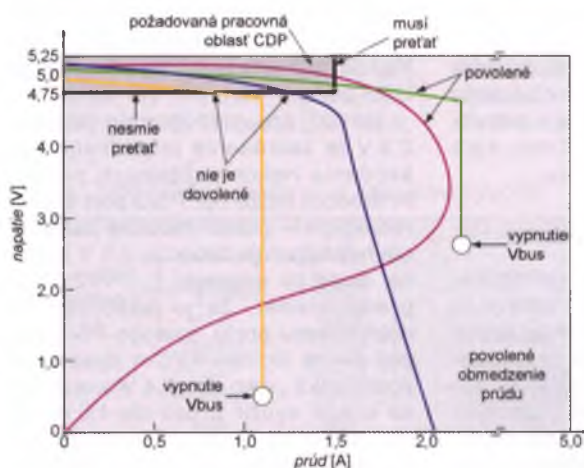
DCP môže využiť shutdown operation pri odbere presahujúcom 1,5 A, alebo pokiaľ by malo výstupné napätie klesnúť pod 2 V (pri odbere nad 500 mA).

DCP tiež musí zabezpečiť, že pri zmene odboru prúdu v pásme od 0 do 100 mA, prípadne v pásme od 100 do 500 mA, bude výstupné napätie minimálne 4,1 V po dobu maximálne 10 ms. Pre skokovú zmenu odboru v celom pásme (od 0 do 500 mA) môže napätie klesnúť až na úroveň napätia na pripojenom prenosnom zariadení na dobu max. 10 ms.

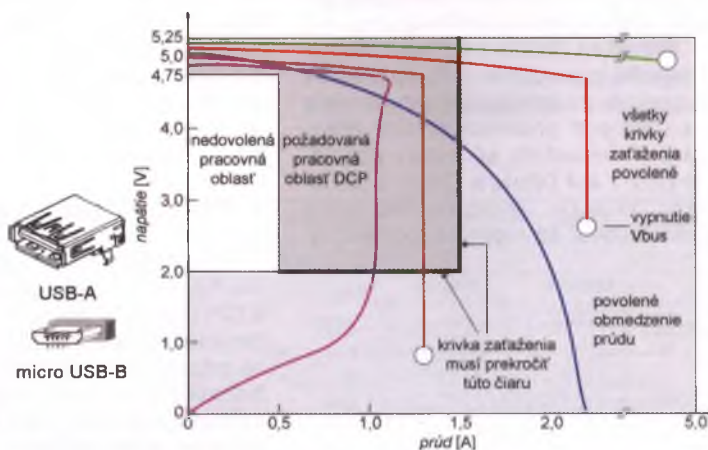
Špecializovaná USB nabíjačka sa vyznačuje tým, že odpor medzi D+ a D- je maximálne 200 Ω , kapacita medzi dátovými pinmi nesmie presiahnuť 1 nF. V praxi bývajú dátové vodiče priamo prepojené.

DCP je vybavený konektorom Standard-A, prípadne káblom zakončeným konektorom micro-B. Pin ID je pri tomto type portu nezapojený.

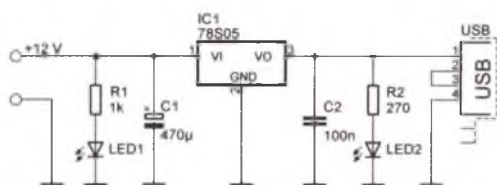
Ako príklad DCP môžeme uviesť jednoduchú nabíjačku Samsung smartfónu do auta. Zapojenie zodpo-



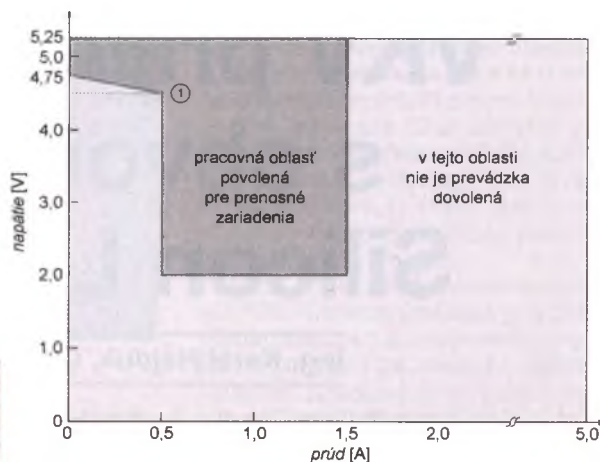
Obr. 3. Pracovný rozsah CDP portu



Obr. 4. Pracovný rozsah DCP portu



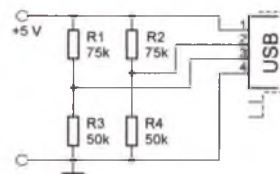
Obr. 5. Jednoduchá USB nabíjačka. Dátové vodiče D+ a D- sú priamo prepojené



Obr. 7. Povolená pracovná oblasť pripojeného mobilného zariadenia (PD)



Obr. 6. Praktická realizácia nabíjačky z obr. 5



Obr. 8. Adaptér pre nabíjanie i-zariadení

vedajúce danej špecifikácii (s využitím známeho 78S05) je znázornené na obr. 5.

V praxi je možné použiť aj stabilizátor 7805 (výstupný prúd do 1 A obyčajne postačuje), ale pokiaľ chceme naozaj zaručiť výstupný prúd do 1,5 A, je bezpečnejšie použiť 78S05 (do 3 A). Pri stavbe je potrebné myslieť aj na vhodné (dostatočné) rozmery chladiča.

A ešte pohľad z druhej strany – – Portable Device (PD)

Vo všeobecnosti nesmie spotreba PD prekročiť 1,5 A. Očakávané napätie môže klesnúť až na 4,5 V kvôli stratám v káblí a na konektoroch. Povolená pracovná oblasť PD je definovaná grafom na obr. 7.

Popíšeme si teraz v stručnosti, čo každé mobilné zariadenie musí podporovať na detekciu pripojeného portu:

- Časovač na detekciu pripojenia dátových pinov (DCD timer)
 - aj v prípade, že mobilné zariadenie nepodporuje detekciu priamo, musí byť schopné vyčkať definovaný čas (spomínaných 300 až 900 ms) po detekcii pripojenia, kým pokračuje v detekcii portu.
- Primárna detekcia
 - rozpoznanie DCP, CDP a SDP a porovnanie úrovne D- s referenčným napätím (0,25 až 0,4 V).

Mobilné zariadenie ďalej môže (ale nemusí) urobiť:

- úplnú DCD detekciu,
- kompletnú primárnu detekciu,
- sekundárnu detekciu,
- detekciu ACA.

Poznámka ku produktom Apple

Podľa [4] a [5] (ale aj iných článkov či diskusií, ktoré je možné „vygoogliť“), mobilné zariadenia ako iPod alebo iPhone nespĺňajú kritériá USB špecifikácie, čo sa detekcie portu týka. Produkty Apple rozoznávajú napätie na D+ a D-, od ktorého odvodí maximálny možný nabíjací prúd, pričom ak $D+ = 2,0\text{ V}$ a $D- = 2,0\text{ V}$, je max. prúd 500 mA [6], zatiaľ čo 2,8 V na D+ a 2,0 V na D- definujú povolený prúd 1 A, a pre $D+ = 2,8\text{ V}$ a $D- = 2,0\text{ V}$ povolia odoberať prúd až 2 A.

Čiže, napríklad zapojenie na obr. 8 by malo spoľahlivo zaručiť nabíjanie „i-zariadení“ prúdom maximálne 500 mA [6] z externého zdroja 5 V.

Záver

Viac informácií je možné nájsť v uvedených odkazoch. Pokiaľ však máte k danej tématike otázky či námety, môžete sa na mňa s dôverou obrátiť prostredníctvom mailu: miroslav.cina@t-online.de.

Literatúra a odkazy

- [1] Battery Charging Specification, Revision 1.2, 15. 03. 2012 (http://www.usb.org/developers/devclass_docs/BCv1.2_070312.zip)
- [2] USB Battery Charging 1.2, Compliance Plan, Revision 1.0, 12. 10. 2012 (http://www.usb.org/developers/devclass_docs/USB_Battery_Charging_1.2.pdf)
- [3] Universal Serial Bus, Implementers Forum, Full and Low Speed Electrical and Interoperability, Compliance Test Procedure, February 2004 (http://www.usb.org/developers/docs/USB-IFTest-Proc1_3.pdf)
- [4] Wikipedia – Universal Serial Bus (http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Universal_Serial_Bus)
- [5] Modify a cheap USB charger to feed an iPod, iPhone or Samsung Galaxy (<http://www.instructables.com/id/Modify-a-cheap-USB-charger-to-feed-an-iPod-iPhone/?ALL-STEPS>)
- [6] The mysteries of Apple device charging (<http://www.ladyada.net/make/mintyboost/icharge.html>)
- [7] TUTORIAL 1822 - USB On-The-Go Basics. (<http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/1822>)
- [8] Texas Instruments BQ24392 data sheet (www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24392.pdf)