

Jednou z příčin poškození nebo úplného zničení regulátoru může být brzdění. Tento způsob destrukce regulátoru není tak průhledný jako třeba přepólování baterie, proto si zaslouží podrobnější rozběr. Když vám bude jasný mechanismus brzdění, snáze se můžete vyhnout problémům. To, jestli brzdění regulátor „přežije“ nebo ne, závisí na řadě faktorů. Na použitém motoru, na otáčkách, na autě (jeho hmotnosti), na použitých převodech, na kvalitě a stavu pohonné baterie, na vodičích s konektory. Velký vliv má rovněž použitá intenzita brzdění. Na tyto jevy a děje přitom regulátor prakticky nemá vliv.

V následujících testech byly použity baterie:

a) Kokam K5000/30C/6s

b) K4800/20C/6s

c) jiná baterie 5Ah, ne příliš kvalitní

a motory:

a) ACS 18/20-100 MP JET

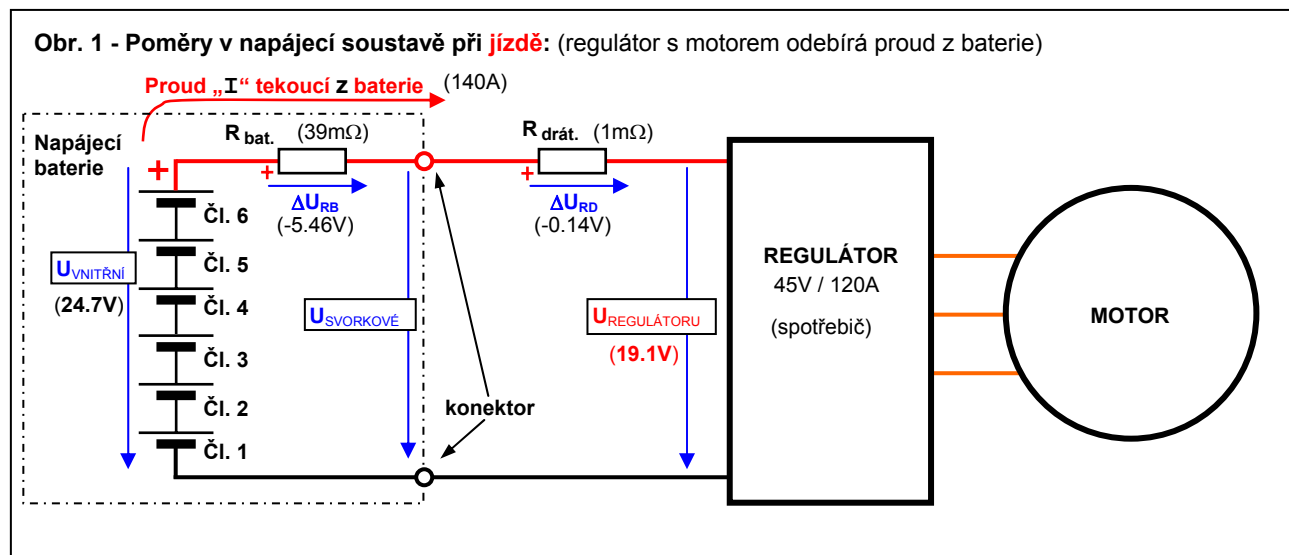
b) NEU 1521/1D/F

Regulátor použitý k testům je starší typ TMM12032-3 (120A, 45V). Zjednodušené schéma napájecí soustavy regulátoru je na dvou následujících obrázcích. Pro názornost jsou zobrazeny i konkrétní hodnoty napětí, proudů a odporů (krátké dráty, velmi malé vnitřní odpory baterie, střední brzdicí proudy).

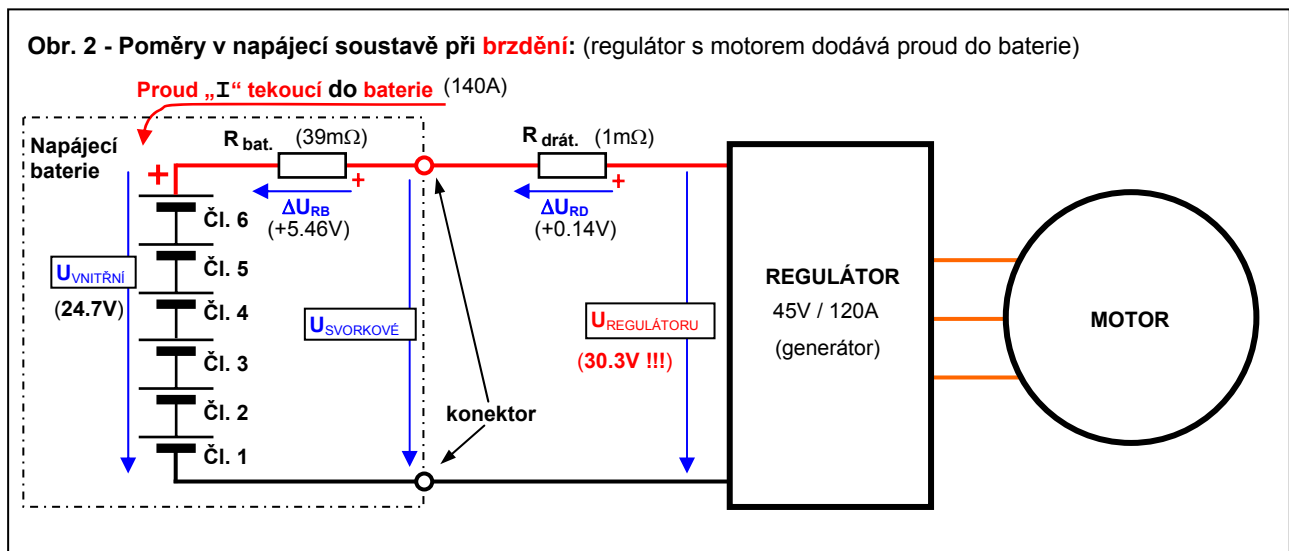
Na obr. 1 je stav za provozu, kdy motor odebírá z pohonné baterie proudy, tzn. rozjezd a jízda.

V této situaci teče proud z baterie s napětím ($U_{\text{VNITŘNÍ}}$) k regulátoru. Průtokem proudu přes vnitřní odpory baterie a další odpory ($R_{\text{bat.}} + R_{\text{drát.}}$) v obvodu (vodiče, konektory) vzniká na těchto odporech úbytek napětí, takže napětí na vstupu regulátoru je o tato napětí menší. Čím větší tekou proudy (I) a čím větší jsou tyto odpory, tím větší napětí se na nich zachytí a tím méně napětí bude na vstupu regulátoru ($U_{\text{REGULÁTORU}}$). Na svorkách baterie můžeme naměřit napětí $U_{\text{SVORKOVÉ}}$.

Pokud bude odebírán proud příliš velký nebo odpory příliš velké, napětí pro regulátor může klesat k příliš nízkým hodnotám, takže regulátor nemusí pracovat korektně, ale tento stav jej nezničí.



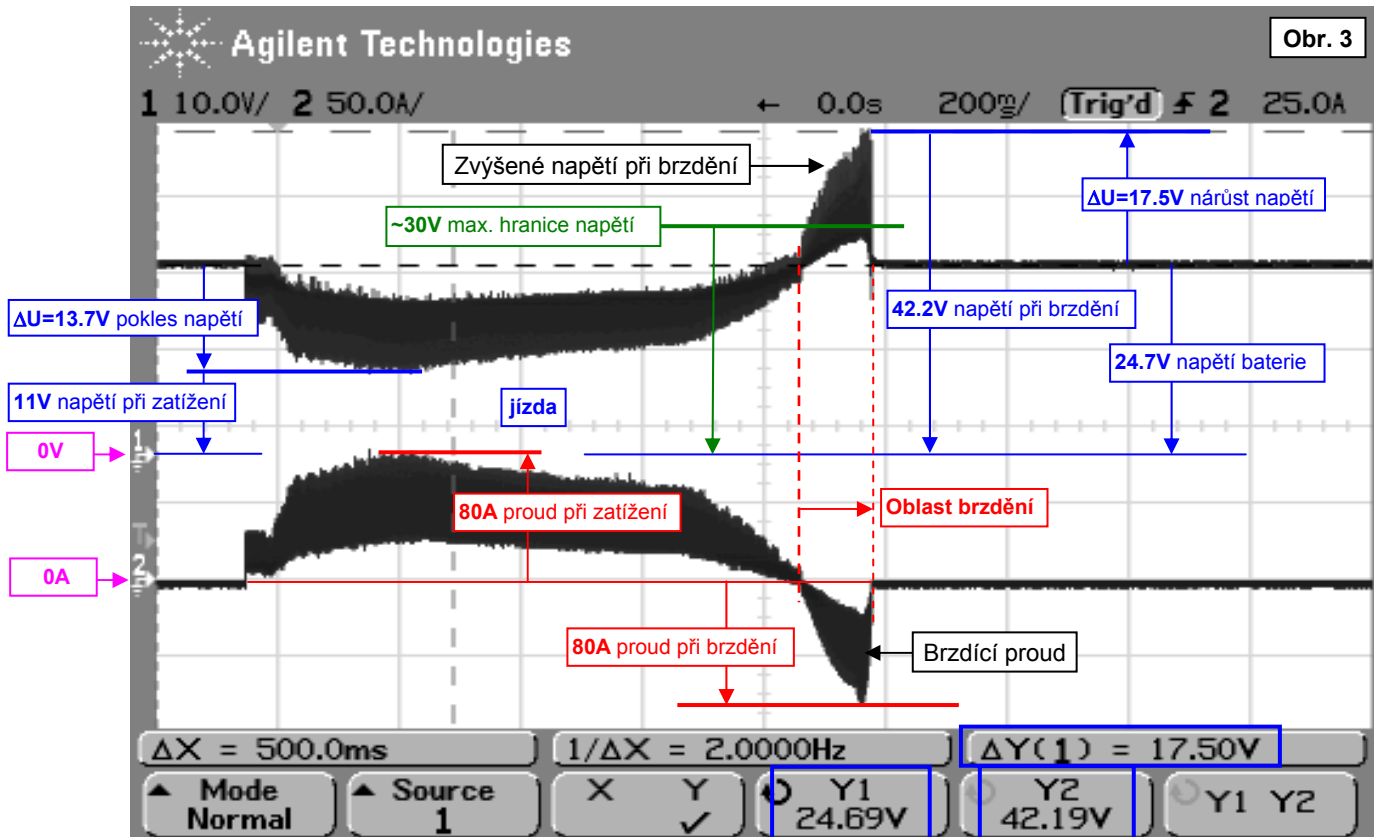
Podstatně jiná je však situace při brzdění (Obr. 2). V tomto případě se chová motor s regulátorem jako generátor a proudy tekou do baterie. Opět se uplatní odpory v obvodu (jak vnitřní odpor baterie, tak odpory vodičů, konektorů atd.). Protože je směr proudu opačný, mají i napětí zachycená průtokem proudu na odporech v obvodu, opačnou polaritu a **přičítají se** k napětí baterie. To má za následek zvýšení napětí na vstupu regulátoru během brzdění. Pokud je toto napětí významně vyšší než jsou maximální povolené hodnoty dané použitými součástkami, regulátor může být snadno zničen – zdánlivě bez jakékoli příčiny.



Napětí a proudy v reálných situacích, příklady:

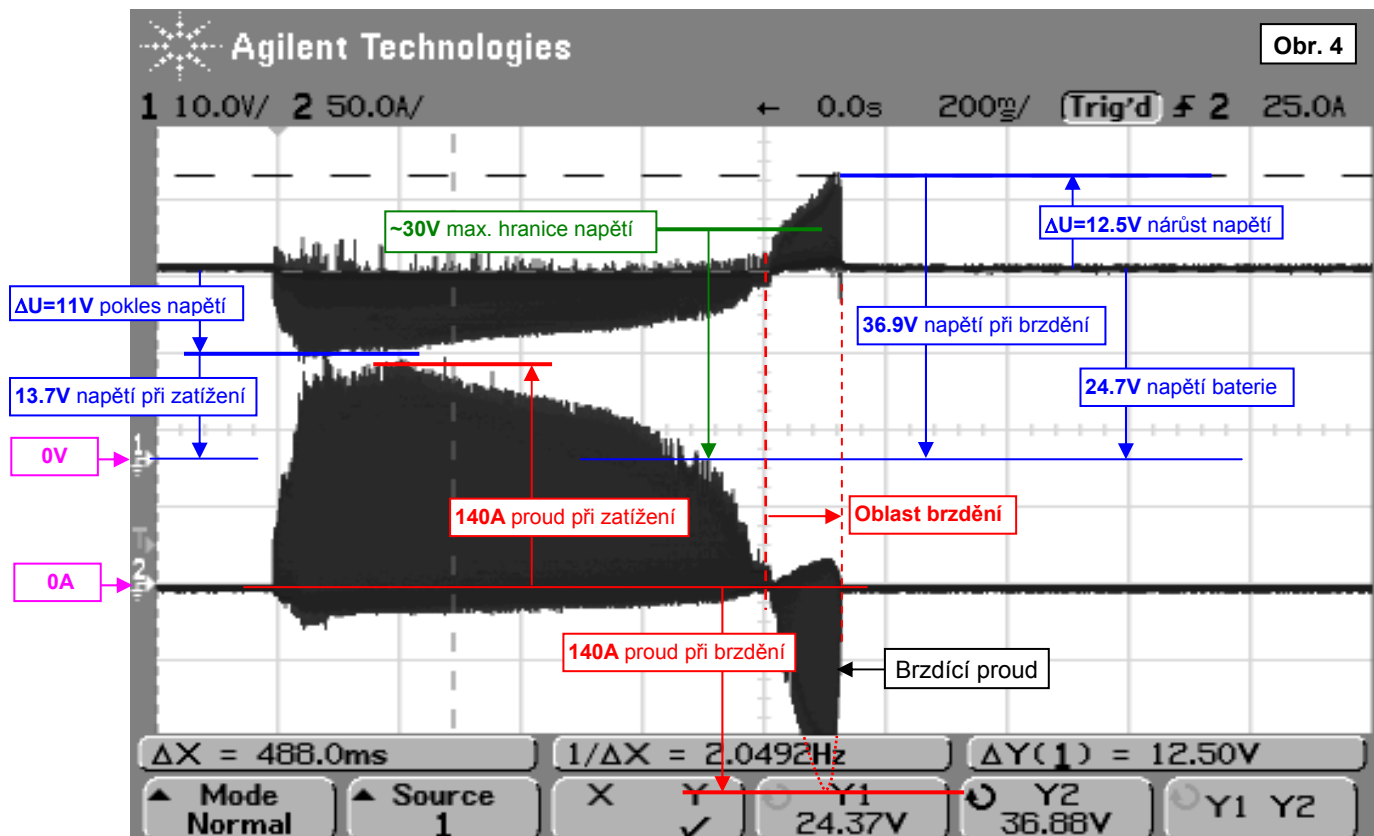
Napětí a proudy v reálných situacích, příklady:

Baterie Lipol složená ze dvou průměrných packů 3S (tedy celkem 6S), vodič mezi paky je 32cm, vodič od baterie je také 32 cm, vodiče u regulátoru 12+12cm, průřez 2.5 a 4 mm², odpor samotných vodičů je cca 4 mΩ. Celkem 4 konektory mají odpor cca 1 mΩ. Tato baterie s vodiči a konektory má celkový odpor cca 170 mΩ. Poměry v napájecí síti jsou na obrázku 3.



Situace je dost kritická, vidíme, že v průběhu brzdění jsou špičky napětí na vstupu regulátoru až 42V. Pokud by byl použit regulátor pro 6 Lipol, který může vydržet napětí do cca 30V, bude bezpečně zničen již při prvním takovémto zabrzdění. (Nárůst napětí o 17,5V !!! při relativně malém brzdícím proudu, řádově jen asi 80A)

Pokud použijeme lepší baterii (zde s celkovým vnitřním odporem cca 80 mΩ), kratší vodiče, je situace sice lepší, ne však dobrá. Napětí při brzdění téměř dvojnásobným proudem (140A) vzroste „jen“ o 12,5V na cca 37V. To ovšem regulátor pro 6 Lipol opět většinou nevydrží, i když, pokud bychom nebrzdili, nebo brzdili jemněji, bude bez problémů pracovat. Poměry jsou na obr. 4.



V obou předchozích případech tedy stačí jednou intenzivně zabrzdít a může být velmi snadno a rychle po regulátoru, de facto, po pár metrech jízdy.

Paradoxně, čím lepší regulátor použijete (tedy čím má kvalitnější FETy a plošné spoje, nebo čím více má FETů a tlustší vrstvy mědi na plošných spojích, tj. menší odpory FETů i spojů), **tím je situace horší.** Z motoru, pracujícího při brzdění jako generátor, se dostává více energie (proudu) do baterie, tzn. na odporech vodičů (R drát.) a vnitřním odporu baterie (R bat.) se „zachytí“ větší napětí a tím pádem bude větší napětí i na vstupu regulátoru ($U_{\text{REGULÁTORU}}$). Tzn. tím pravděpodobnější je destrukce regulátoru, pokud nemáte dostatečné rezervy v jeho napěťovém dimenzování.

Jak tuto situaci řešit? V zásadě třemi, resp. čtyřmi způsoby.

- použijete napájecí baterie, které **mají skutečně velmi malé vnitřní odpory** (jako třeba Kokam 30C s dostatečnou kapacitou). **Nestačí tedy, že obchodník nebo dodavatel udává pro baterii „velká Céčka“ a že umí dodat velké proudy !!!** Příkladem takových baterií mohou být baterie z článků A123, které sice mohou dodat velké proudy aniž by se zničily, ale vnitřní odpory jsou vysoké. Současně musíte zabezpečit co nejkratší vodiče mezi baterií a regulátorem a použít kvalitní konektory, tedy ne „4 mm zlacené banánky“ nebo „Dean“ apod., ale nejméně MP JET 3.5 mm nebo lépe 5.5 či 6.0 mm. Samozřejmě jsou vodiče o průřezu alespoň 4mm^2 (tj. 11 gauge v US jednotkách) a kvalitní pájení (nebudeme se o modelech 1:18, ale samozřejmě o větších typech aut – byť uvedené jevy fungují i u té nejmenší kategorie). Nicméně ani baterie s velmi malými odpory nemusí stačit – v některých kombinacích výkonných motorů a větších aut mohou i s velmi dobrou baterií být napětí generovaná při brzdění větší, než snese regulátor.
- použijete **regulátor na vyšší napětí**, než se zdá být nutné z hlediska svorkového napětí baterie (tzn. pro 6 Lipol použijete regulátor na alespoň 8 Lipol).
- použijete **„řízenou odporovou zátěž“** pro odčerpání části brzdících proudů, přídatný modul k regulátoru – ve vývoji.
- budete brzdít jemně – to se v praxi ale dost těžko odhaduje.

Pravděpodobně **b)** je nejbezpečnější metoda, i když metoda **a)** v řadě případů bez problému vyhoví. Měření skutečných poměrů v modelu je v domácích podmínkách obtížně realizovatelné, takže pokud by jste pracovali s mezním počtem článků (tj. 5 a 6 článků pro 6-ti Lipolkové regulátory), je bezpečnější kombinovat metodu **a)** a **b)**, tzn. použít regulátor na vyšší napětí a současně co nejlepší články, případně kombinaci metod **a)** a **c)** pokud nevádí přídatný modul (rozměry + váha).

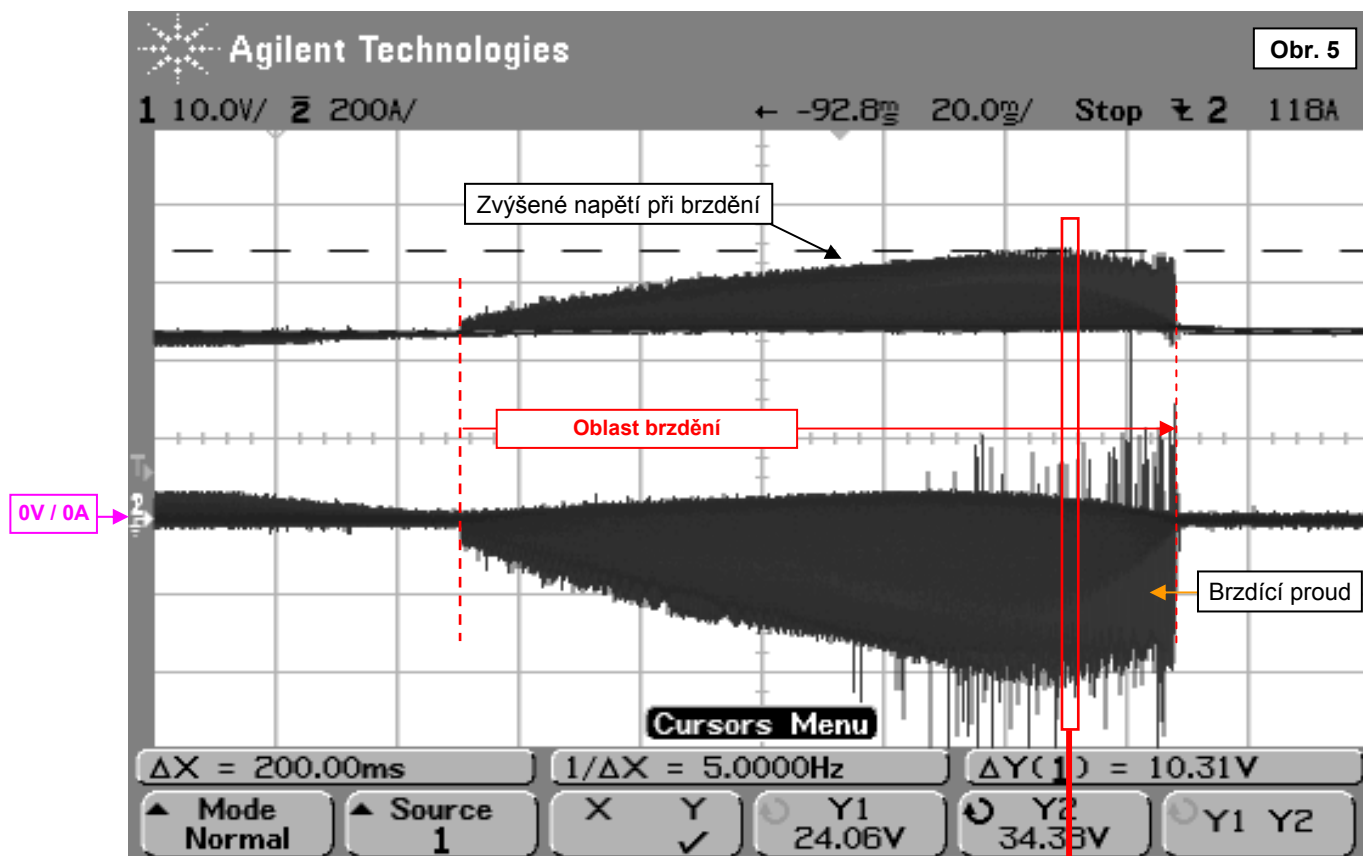
Poznámka k vodičům:

Uvědomte si, že na vodiči o průřezu 4mm^2 a celkové délce 20cm (tj. 5 + 5 cm u baterie a 5 + 5 cm u regulátoru), tedy s odporem $1\text{m}\Omega$, se při proudu 140A vytvoří ztráta kolem 19W. Pokud se délkou vodiče „neobtěžujete“ a vodiče budou mít délku 60cm (tj. například 10 + 10cm u regulátoru a 30 + 10 cm u baterie), bude ztráta na těchto vodičích při stejném proudu již cca 57W. Tímto výkonem ze vodiče ohřívají. Je to podobné, jako by jste připojily žárovku 60W.

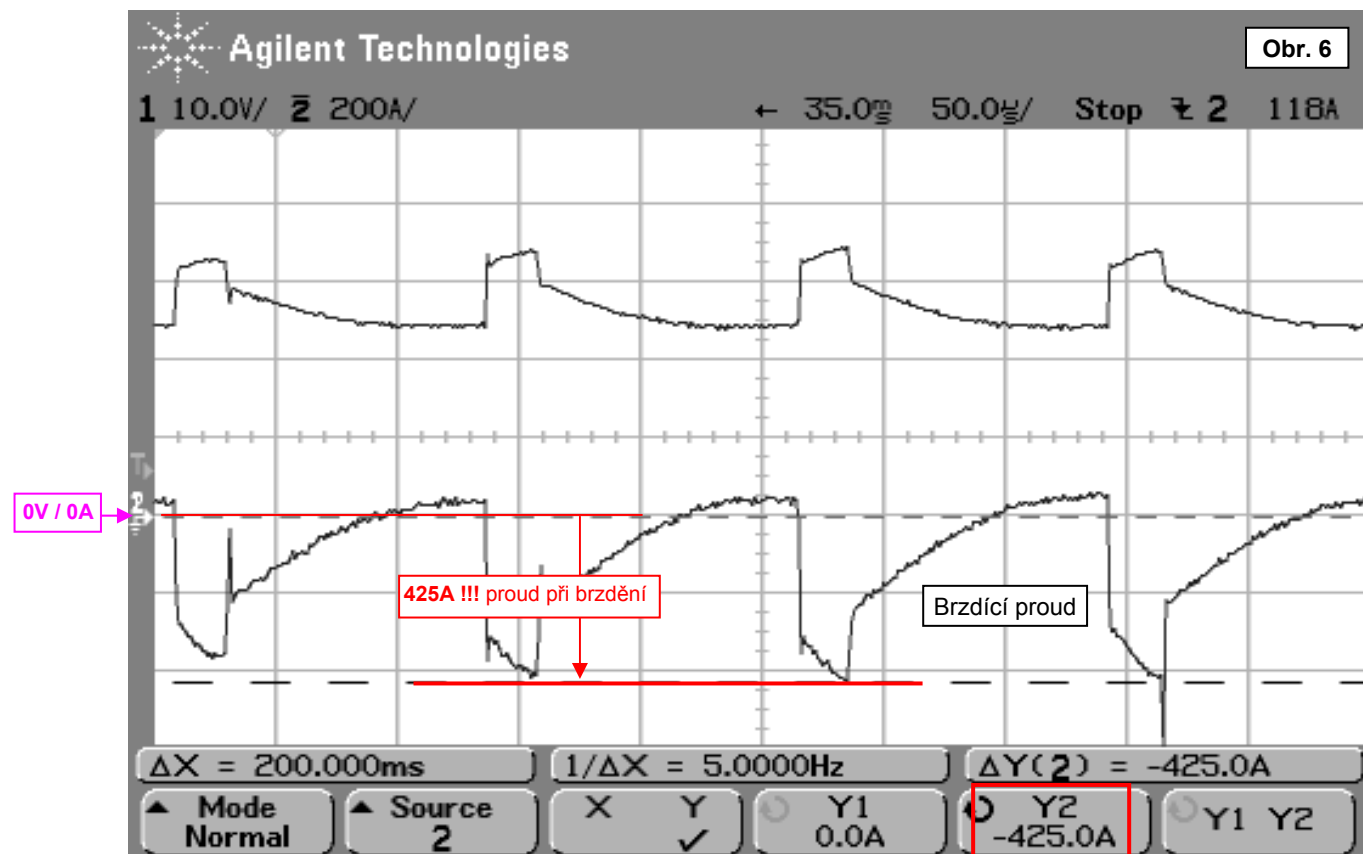
Větší problém než odpor vodiče ale může způsobit indukčnost dlouhých vodičů, která zvětší odpor vodiče pro střídavé děje a zhorší celou situaci. Proto se doporučují v případě delších vodičů mezi regulátorem a baterií přídatné filtrační kondenzátory (vždy typu „very low ESR“, 105°C), co nejbližší k regulátoru.

Další příklady brzdění:

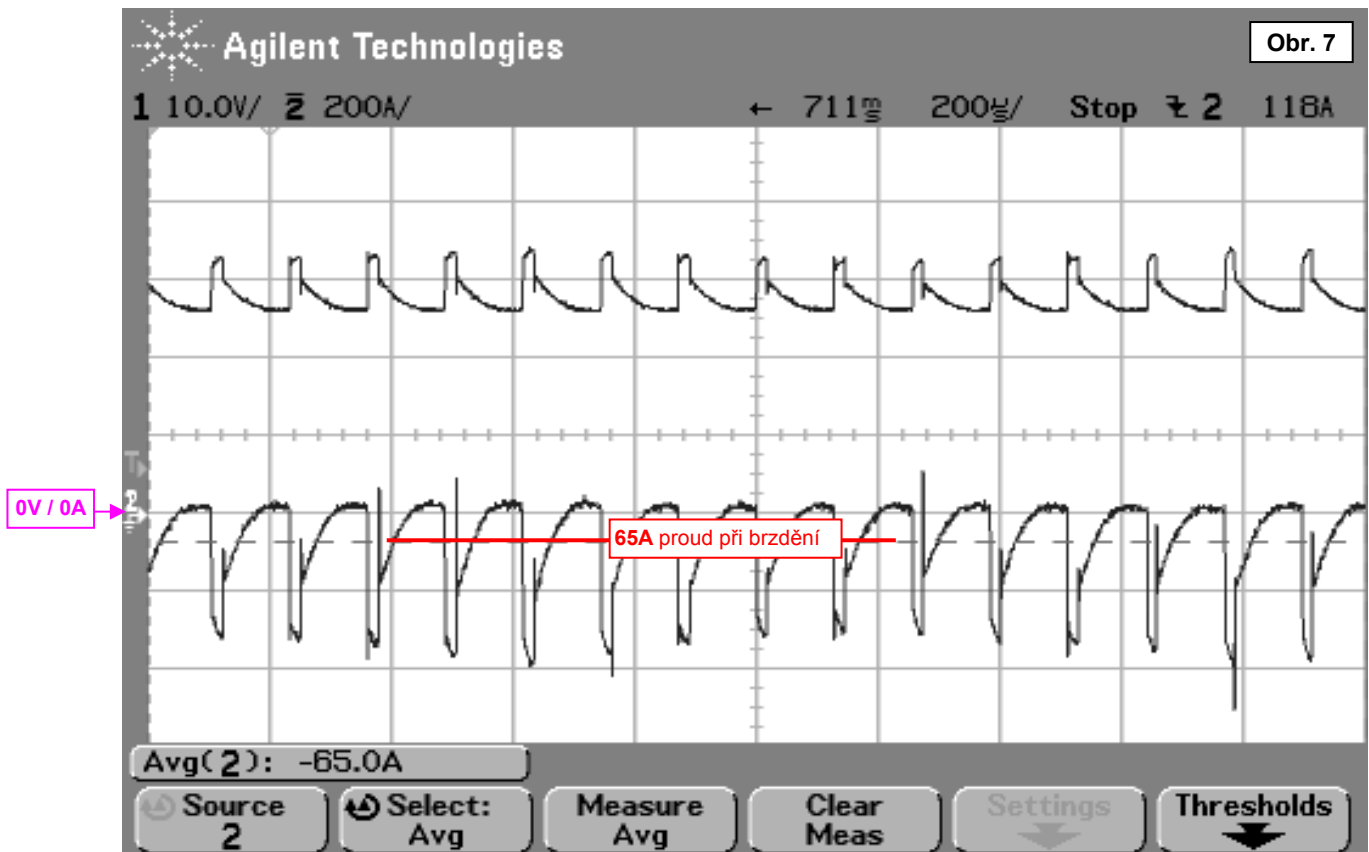
Motor Neu 1521/1D, baterie K5000/30C, 6s



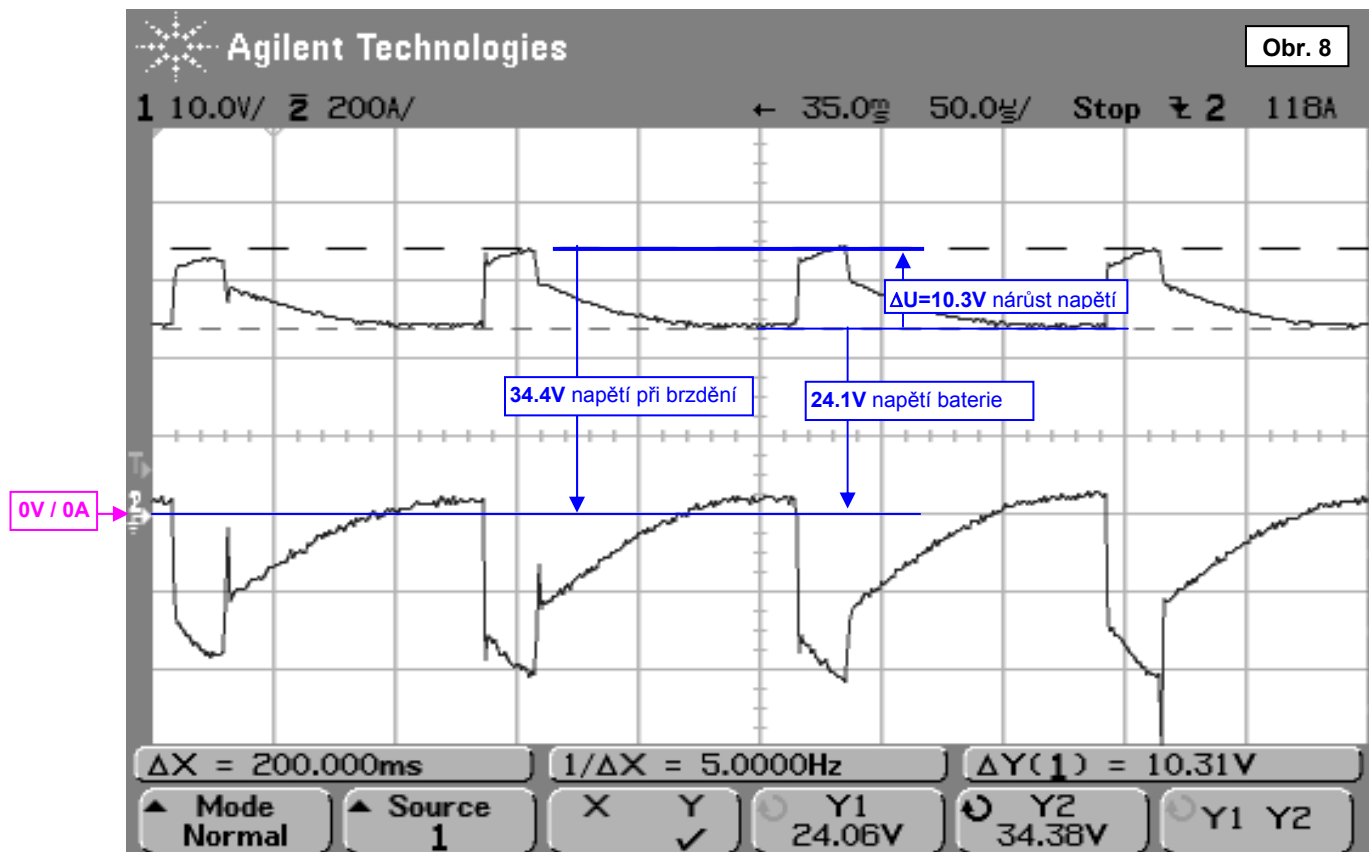
Detail, určení brzdícího proudu ve špičkách



Střední brzdící proud:

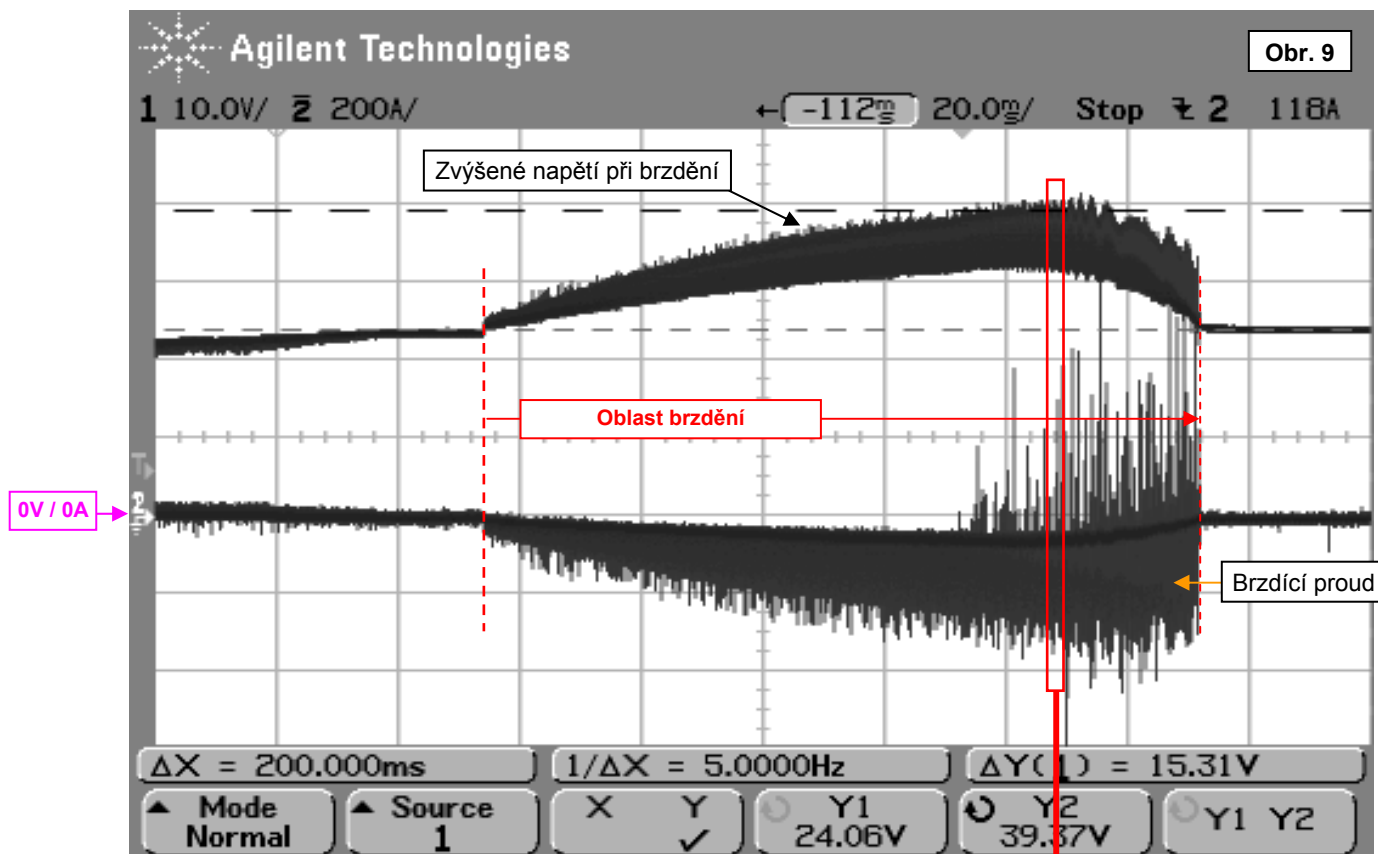


Detail, napětí při brzdění.

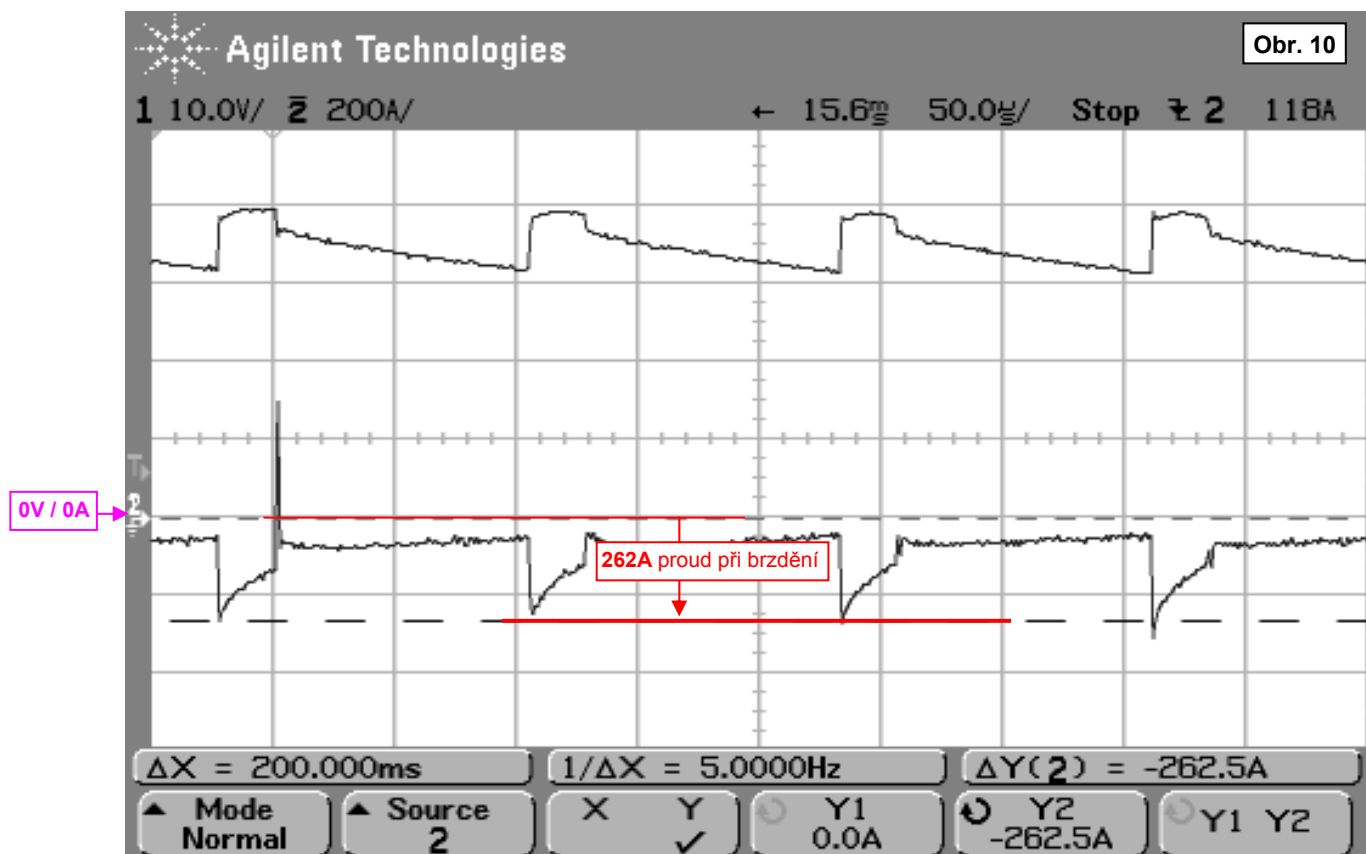


Vidíme, že při použití silného motoru a rychlého brzdění by regulátor pro 6 Lipol byl i s velmi dobrými bateriemi silně ohrožen (napětí 34.4V ve špičkách). Řešením by mohlo být použít pack 6s/2p pro zmenšení vnitřních odporů nebo opět raději použít regulátor na vyšší napětí (pro 8 Lipol), případně kombinace obojího.

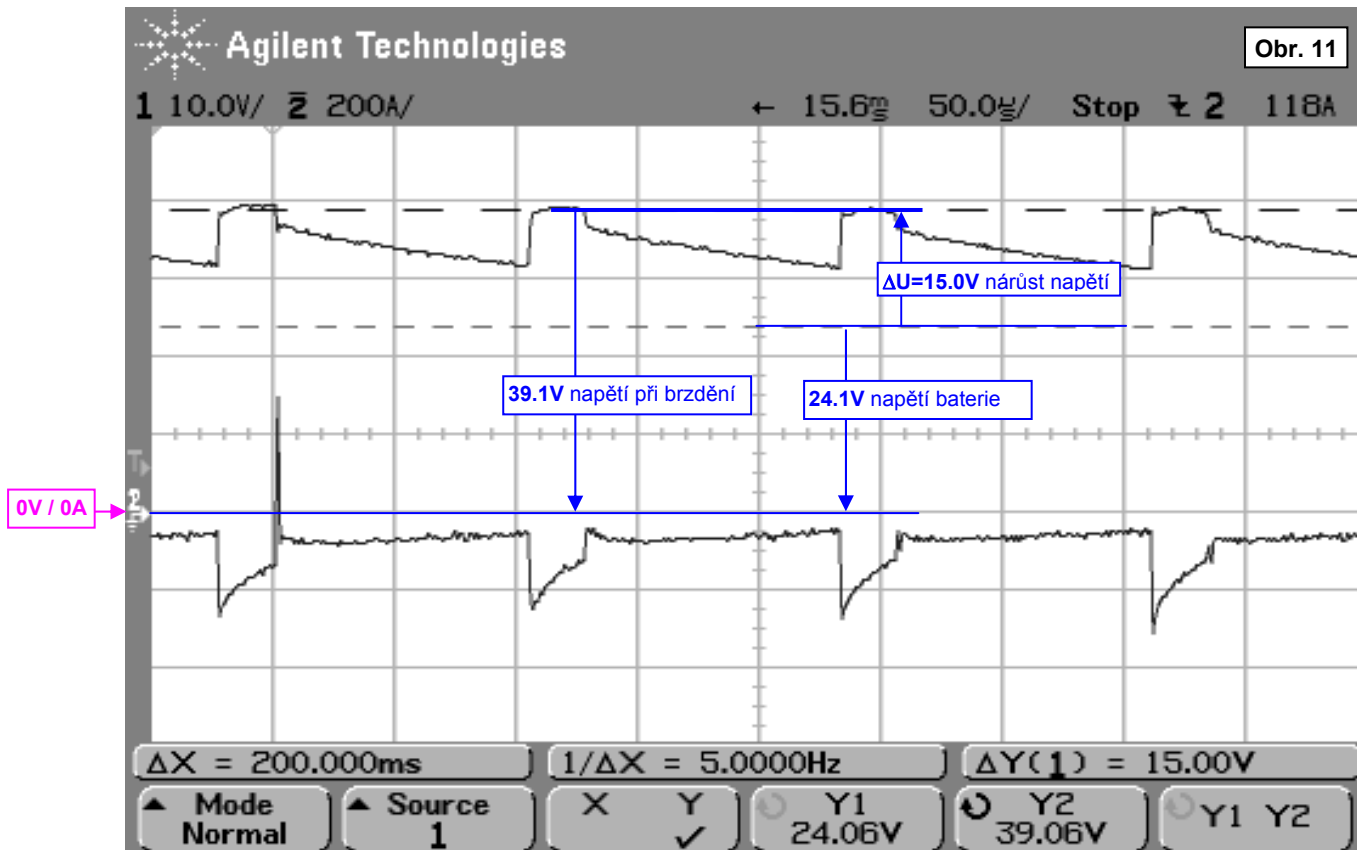
Motor Neu 1521/1D, Lipol „noname“ 5000 mAh, 6s z obr. 9 (tedy ne nejlepší)



Detail, určení brzdícího proudu ve špičkách



Detail, napětí při brzdění.



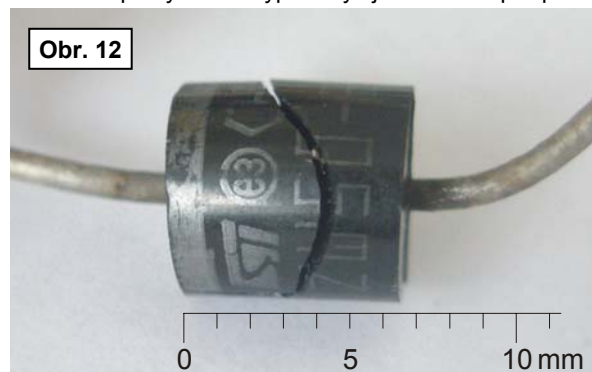
Naprostě nepoužitelná baterie s uvedeným motorem.

Napětí na regulátoru se při brzdění zvyšuje o 15V (na 39V). To by vedlo jednoznačně k destrukci regulátoru pro 6 Lipol článků (max. napájecí napětí 25.5V, max. napětí na vstupu cca 30V), regulátor pro 8 Lipol článků by byl na hranici použitelnosti.

Byl proveden pokus eliminovat tyto napěťové špičky dvěma výkonovými transily BZW50-22 (tj. 2×5000W a proudy v impulsech 2×127A, resp. až 1177A), paralelně spojenými, zapojenými na vstup regulátoru.

Po jejich připojení a zabrzdění oba transily odhořely (jeden přímo puknul), oba se zkratovaly, následně se vlivem extrémního proudu přehřátím v nejslabším místě odpáljel vodič od baterie – naštěstí, jinak by „odešla“ i baterie), regulátor to, díky zkratování transilů a tím i napětí na vstupu, přežil.

Ochranné prvky tohoto typu tedy zjevně nelze pro potlačení napěťových špiček vznikajících při brzdění jednoduše použít.



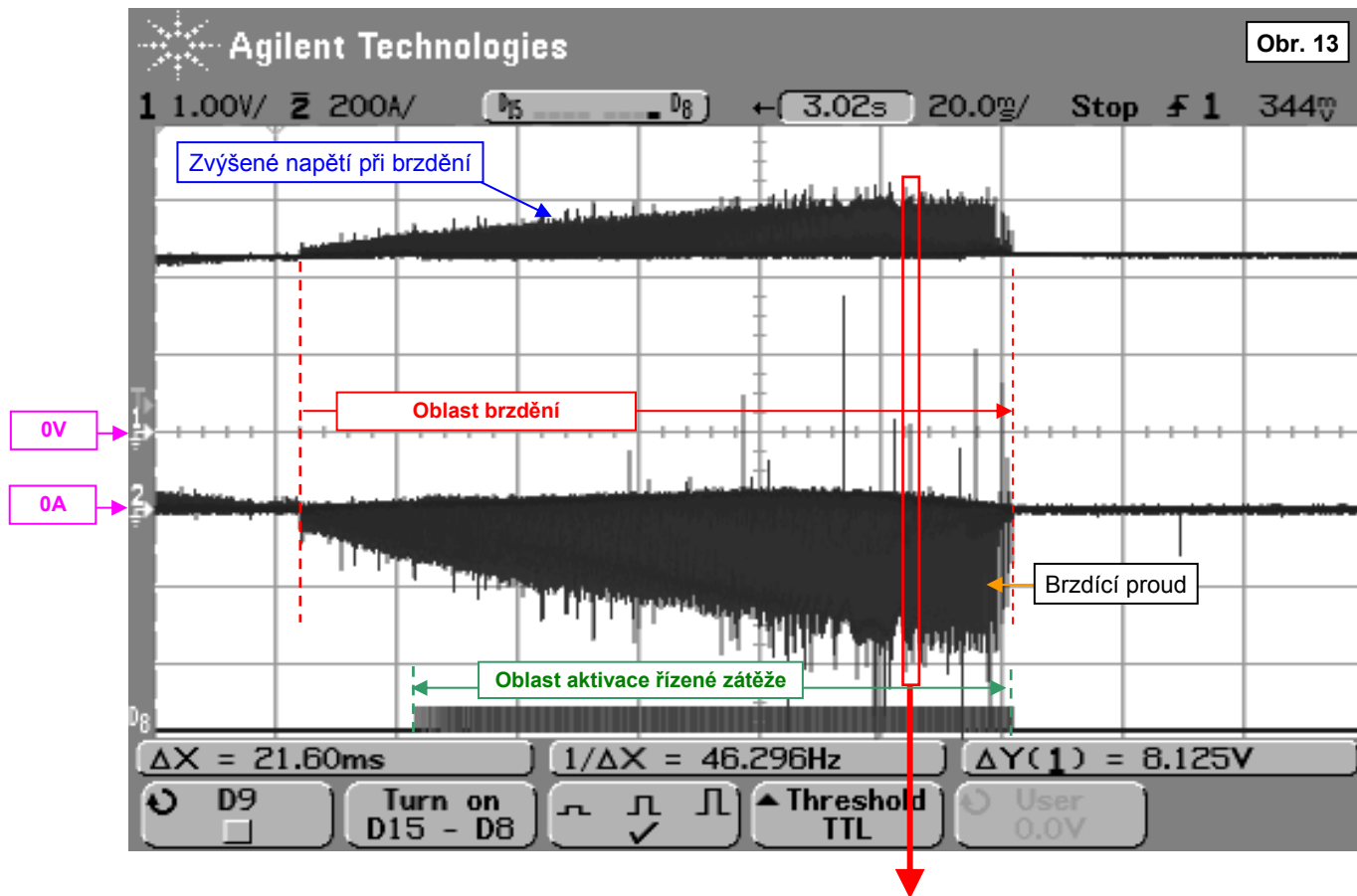
Zhodnocení situace:

Snaha jednoduše omezit napěťové špičky vznikající při brzdění prvky typu TRANSIL není, při použití nevhodné baterie, bohužel reálná – energie vstupující do děje jsou příliš velké.

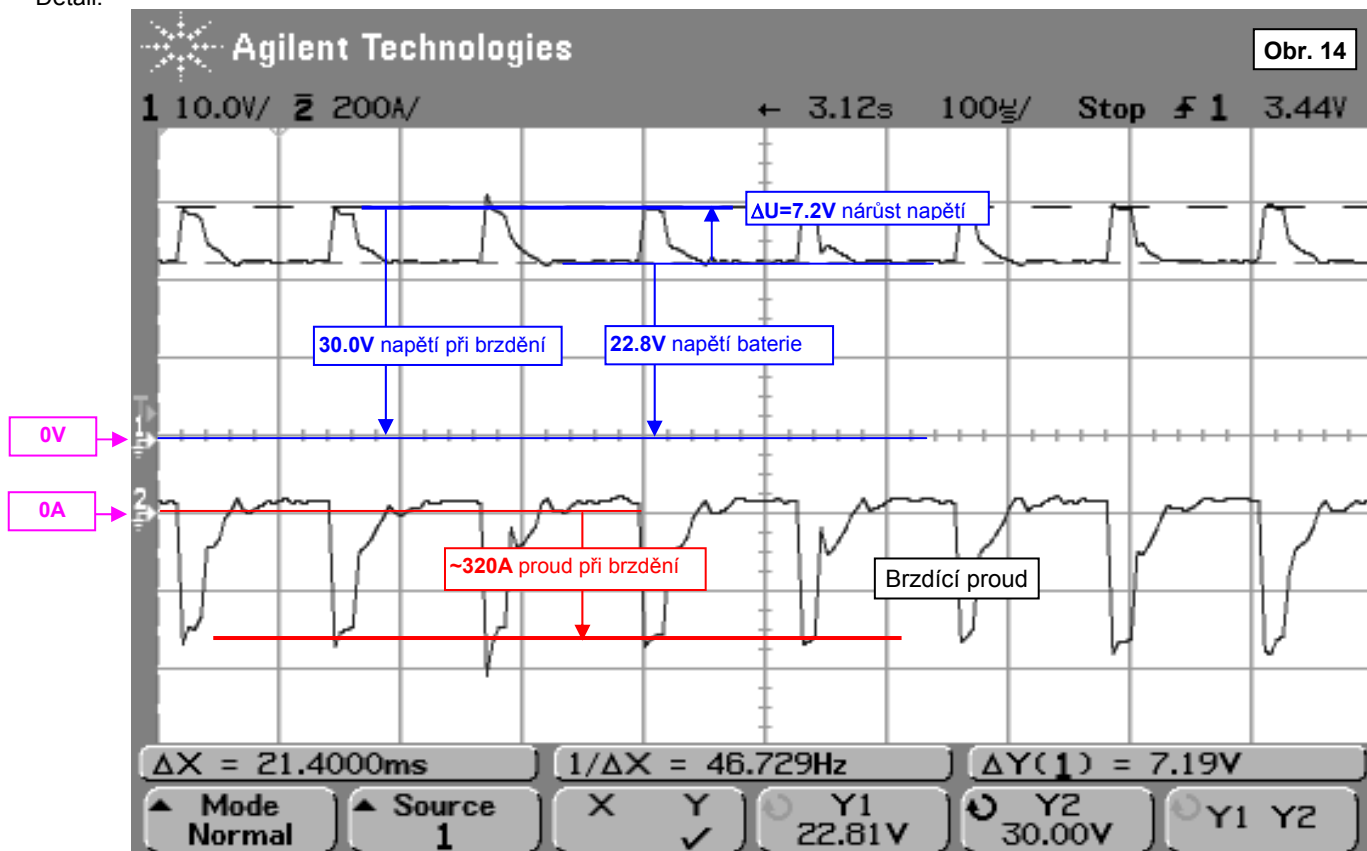
Nezbývá než používat baterie s opravdu malým vnitřním odporem, co nejkratší a nejtlustší dráty, kvalitní, dostatečně dimenzované konektory a raději napěťově předdimenzovat regulátor, zvláště, pokud by měl pracovat v blízkosti svých napěťových limitů (tedy např. užití 5 nebo 6 Lipol článků pro 6 Lipolkové regulátory).

Uvedené jevy při brzdění mají fyzikální podstatu a regulátor samotný je nemůže výrazněji ovlivnit (snad kromě intenzity brzdění) a nezbývá tedy, než je respektovat a vhodně dimenzovat jak samotný regulátor, tak jeho okolí.

Další možností je použít „řízenou odporovou zátěž“ pro napájení - bod c). Výsledky a možnosti viz dále.



Detail:



Stejná situace jako na obr. 5 a 6.

Vidíme, že brzdící proudy do baterie (tj. ty, které vytváří nárůst napětí) se zmenšily z 425A (obr. 5 a 6) na cca 320A a nárůst napětí se díky tomu zmenšil z 10.3V na 7.2V. Přídavný modul je nastaven na max. napětí 30V, proud modulem cca 100A. Pracuje se na modulech až do 200A.

Dodatek:

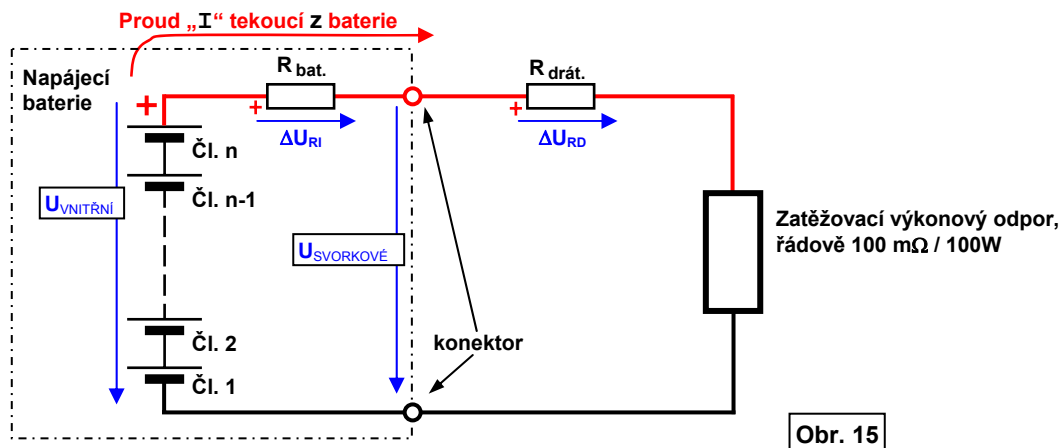
Abyste získali alespoň orientační představu o vlastnostech vaší baterie, můžete i v domácích podmínkách realizovat jednoduché měření vnitřního odporu (byť se dopracujete k trochu jiným výsledkům než udává výrobce, pokud vůbec udává nějakou hodnotu). Odporů vodičů a konektorů zde zanedbáváme.

- 1) změřte napětí baterie na jejích vývodech (svorkách), naprázdno, bez zatížení, tzn. změříte $U_{\text{VNITŘNÍ}}$
- 2) připojte na svorky baterie výkonový odpor a změřte opět napětí na svorkách ($U_{\text{SVORKOVÉ}}$) a současně proud tekoucí z baterie. Měřte rychle, odpor se bude rychle zahřívat – je dost přetěžován. Většinou na změření stačí několik vteřin.
- 3) vypočítáte vnitřní odpor vaší baterie:

$$R_{\text{bat.}} = (U_{\text{VNITŘNÍ}} - U_{\text{SVORKOVÉ}}) / I$$

Pro orientaci, při použití odporu $100\text{m}\Omega$ budou proudy (v závislosti na vnitřním odporu baterie) řádově mezi 80 až 150A pro 6 článků Lipol. To vám na většinu měření stačí. Takový odpor lze jednoduše realizovat paralelním spojením 10 ks odporů $1\Omega/10\text{W}$, které jsou běžně k dostání v obchodech s elektrosoučástkami.

Proud měřte nejlépe klešťovým ampérmetrem, na měření napětí stačí jakýkoli obyčejný voltmetr.

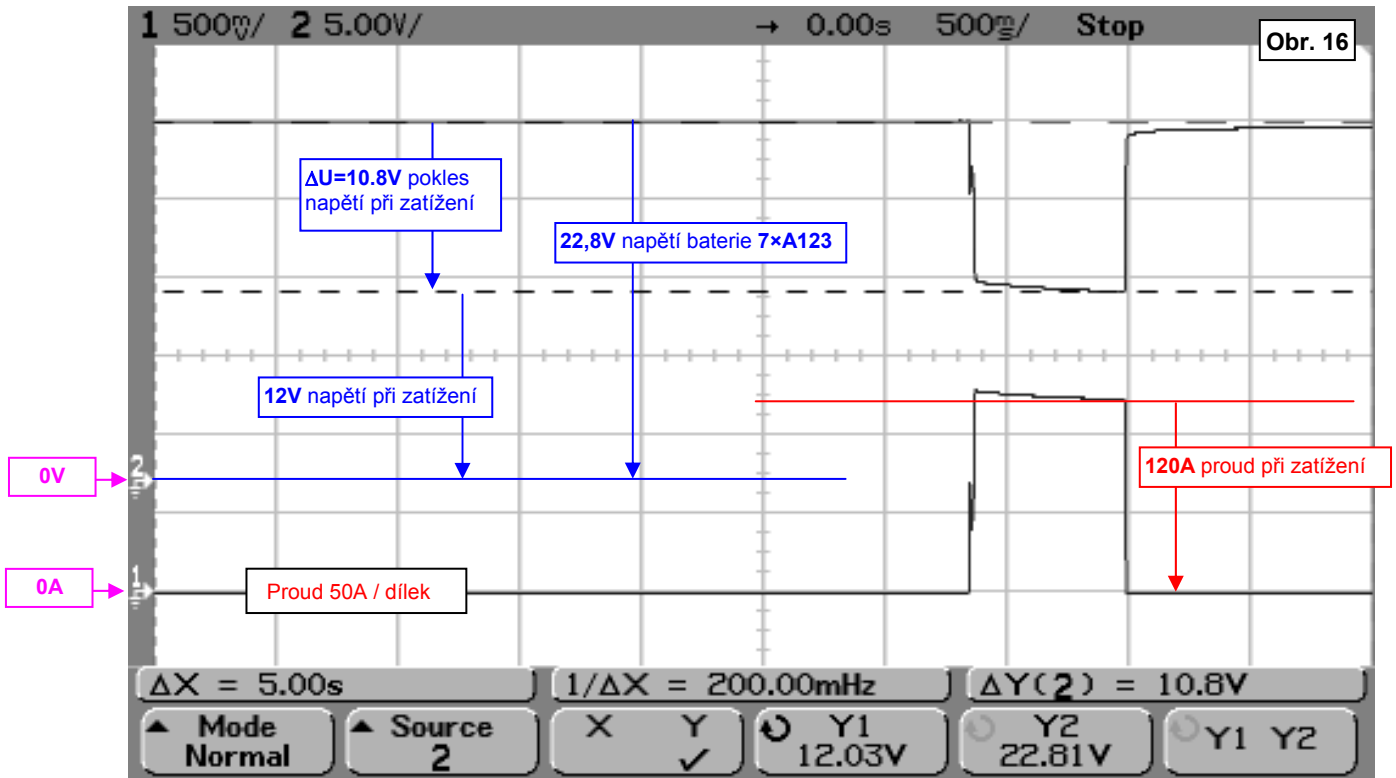


Vnitřní odpor baterie sice nepopisuje úplně přesně chování baterie při krátkých nabíjecích pulzech, ale pro první přiblížení a srovnání různých baterií je to dobré vodítko. Zřejmě se zde uplatňuje vliv „chemie“ článků v oblasti mikrosekundových nabíjecích pulsů (časů). Dalším zkreslujícím prvkem jsou filtrační kondenzátory na vstupu regulátoru, které do sebe část energie při brzdících proudových pulzech absorbují.

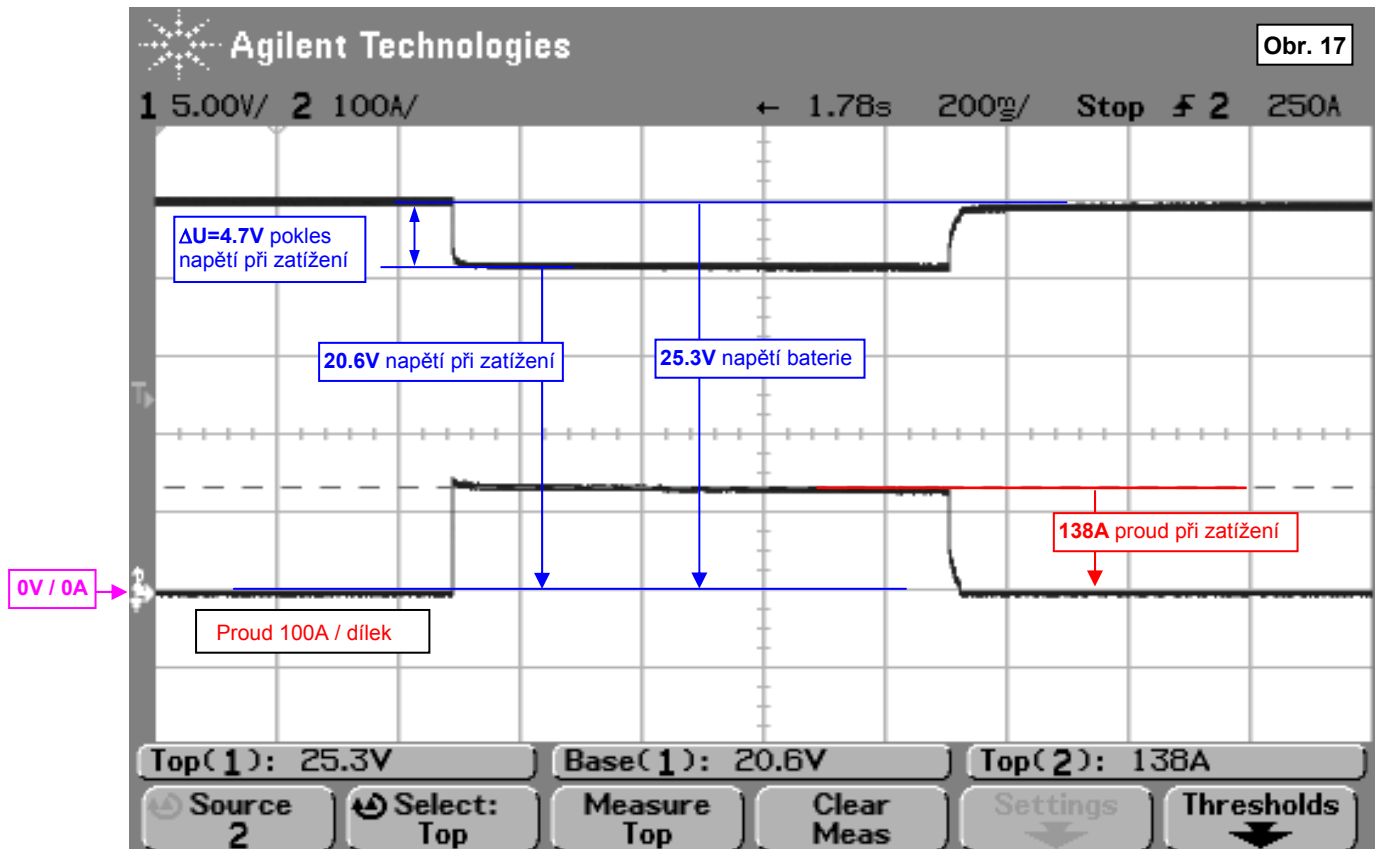
V následujících příkladech jsou touto metodou (byť zde pro názornost prováděnou a zaznamenanou na osciloskopu) získány vnitřní odpory baterií.

Příklady baterií s různými vnitřními odpory:

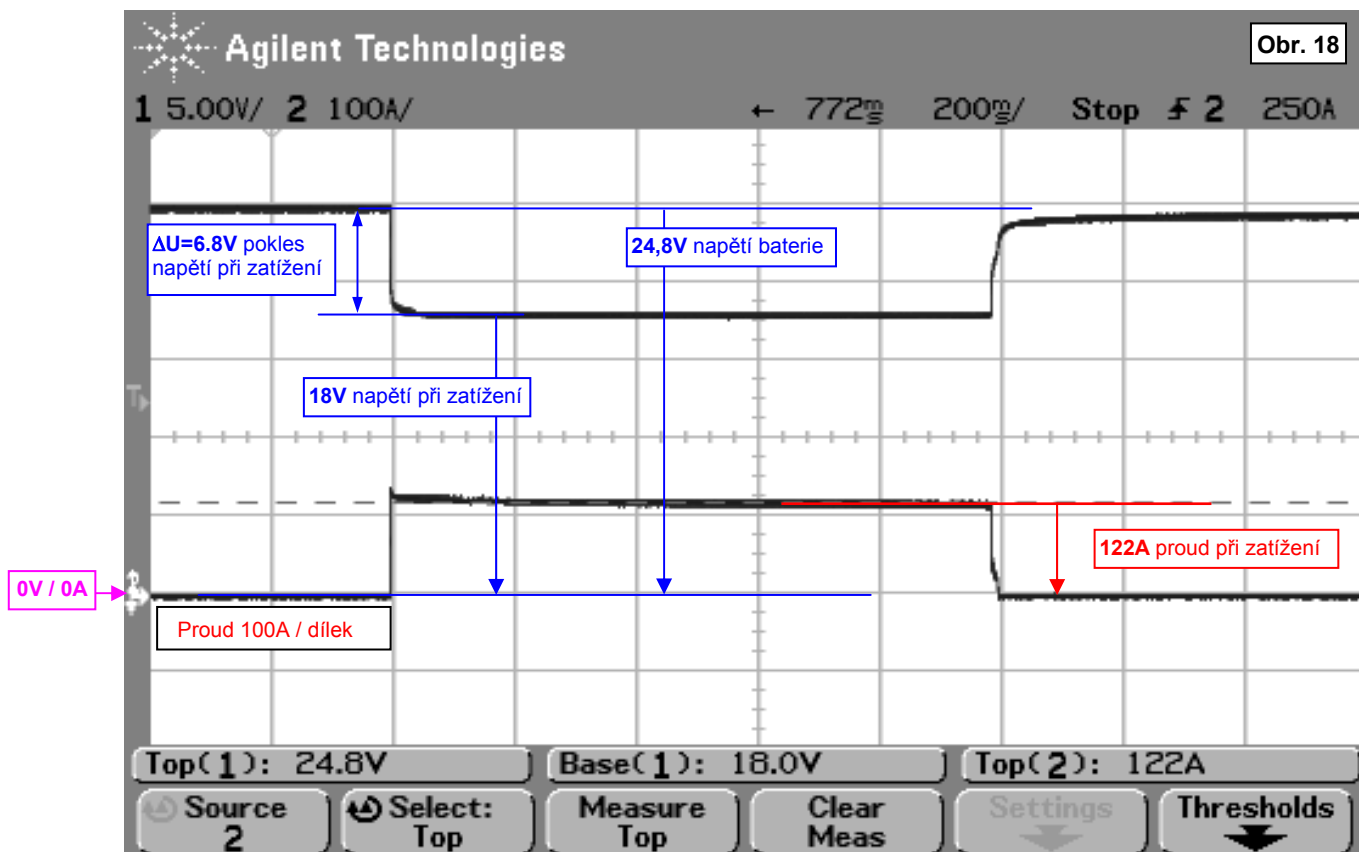
Baterie A123, 2.3Ah, 7s, tj. baterie cca 23V (střední napětí 3.3V/článek) s celkovým odporem $R_i=90\text{ m}\Omega$, (tj. $13\text{ m}\Omega$ / článek).



Kokam 5000 mAh/30C, 6s, tj. baterie cca 22V (střední napětí 3.7V/článek) s celkovým odporem $R_i=34\text{ m}\Omega$, (tj. $5.7\text{ m}\Omega$ / článek).



Kokam 4800 mAh/20C, 6s, tj. baterie cca 22V s celkovým odporem $R_i=56\text{ m}\Omega$, (tj. $9.3\text{ m}\Omega$ / článek)



Jiná (noname) Lipol baterie 5000 mAh, 6s, tj. baterie cca 22V s celkovým odporem $R_i=156\text{ m}\Omega$, (tj. $26\text{ m}\Omega$ / článek)

