

Elektronické vybavení umožňující řízení aktivní regenerace ERDPF filtru

Jindřich Krivka, Jiří Žahour, Kamil Kosturik

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

jkrivka@kae.zcu.cz, zahourj@kae.zcu.cz, kosturik@kae.zcu.cz

The Electronic Conception that Allows the Control of the Active ERDPF Filter Regeneration

Abstract – The paper describes one key function of the ERDPF electronic control system. The main function of electronic system is the switching of regeneration current loops. For this reason, the electronic system has to be equipped by a reliable and quick control MOSFET driver. This driver is based on a dead time generator with multiple outputs and a power accelerated switching by signal edges. In the text is described electronic fundamental functionalities. For better explanation of these, the voltage graphs and block diagram are used.

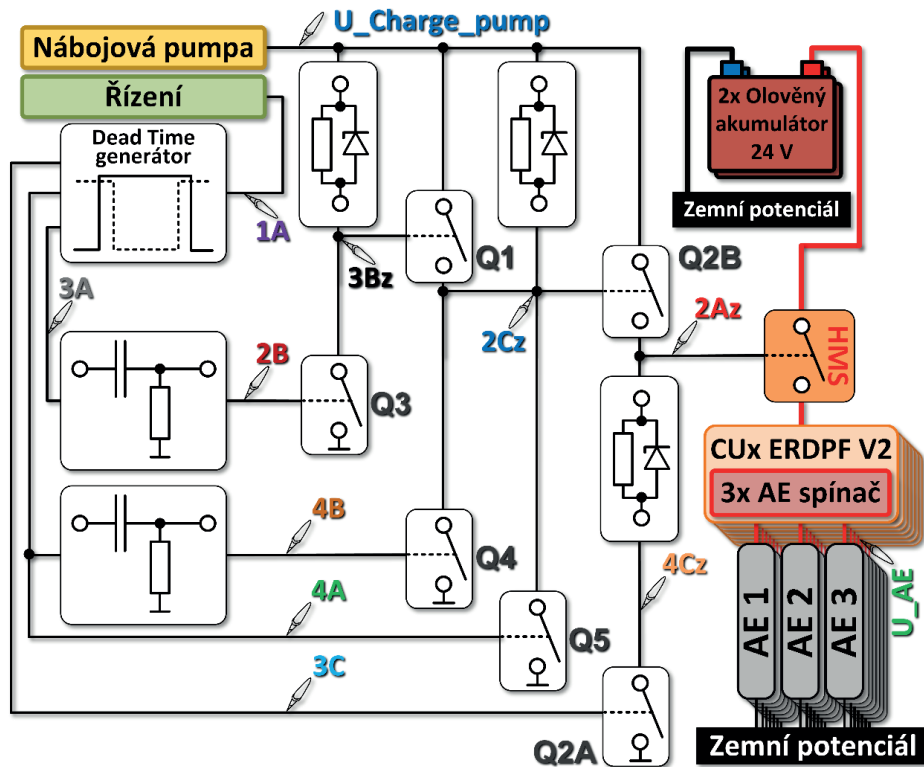
Keywords – ERDPF filter; Modular System; Power High-Side Switch

I. ÚVOD

Elektricky regenerovatelné filtry pevných částic (ERDPF filtry) jsou určeny pro snižování emisí u vznětových motorů [1], [2], [3]. Koncepce elektronického systému 24V ERDPF V2 je rozdělena do dvou základních typů elektronických modulů [4], [5]. Hlavní modul, který slouží jako hlavní spínač proudové regenerační smyčky, a pak až 8 sekundárních modulů, kdy každý může řídit až tři aktivní elementy. To umožňuje maximální konfiguraci filtru s 24 aktivními elementy, které jsou schopné odfiltrvat PM z motoru o objemu 12 l, který splňuje normy Euro III. Systém je konstruován na připojení k 24V napájení v podobě dvou olověných akumulátorů (standartní vybavení nákladních vozidel).

II. SPÍNÁNÍ REGENERAČNÍ PROUDOVÉ SMYČKY

Stěžejním úkolem elektronického systému je připojování aktivních elementů ke zdroji elektrické energie v podobě dvou olověných akumulátorů spojených do série. Spínání elektrického proudu, je řešeno sériovou kombinací dvou horních spínačů [6]. Hlavní spínač (HMS) je tvořen 5 directFET tranzistory IRF7749L2TRPBF jejichž maximální proud jedním kanálem je 200 A, celkový odpor kanálu s kvalitním řízením dosahuje hodnot $\sim 0,22$ m Ω . Jednotlivé aktivní elementy jsou připojovány pomocí sekundárních spínačů. Ty jsou tvořeny čtyřmi directFETy IRF7739L2TR1PBF, jejichž maximální hodnota proudu na kanál je 250 A. Průběh sepnutí regeneračního obvodu je postupný proces, kde jako první dojde k sepnutí sekundárního spínače vybraného aktivního elementu. Následně je sepnut spínač HMS v hlavním modulu, který připne akumulátory na výkonové vstupy sekundárních modulů a regeneračním obvodem tak začne protékat proud, který maximálně může dosahovat hodnot kolem 600 A.



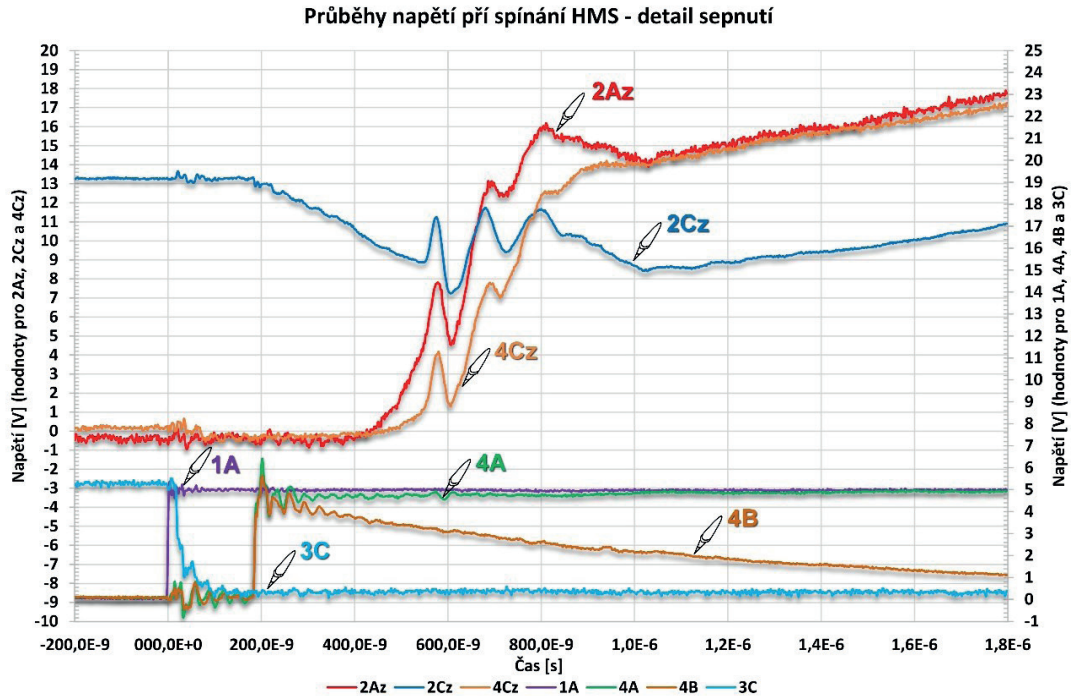
Obrázek I. Koncepte elektronického systému ERDPF filtru

Z katalogového listu vychází, že společná kapacita hradla HMS, která se musí nabít při sepnutí s touto zátěží je přibližně 100 nF. Pokud vycházíme z časové konstanty nejrychlejšího možného sepnutí 60 ns, které je definované výrobcem, tak z toho vyplývá, že maximální přípustný odpor pro spínací řídicí smyčku obvodu je 0,6 Ω . Řízení HMS musí být v ideálním případě schopné pracovat s proudy v hodnotách dosahujících 23 A.

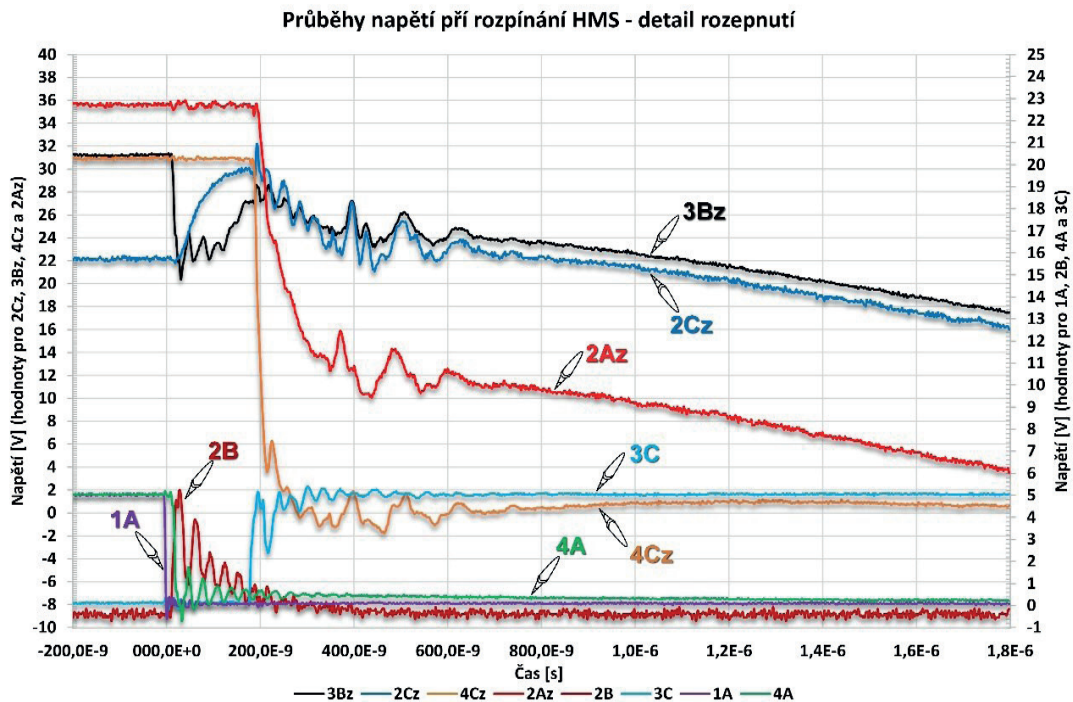
Dalším limitním požadavkem je prahové napětí tranzistorů U_{GS} , kde se podle katalogových údajů začíná tranzistor otevírat již při napětí ~ 2 V. Vzhledem k hodnotě regeneračního proudu, se nesmí tyto hodnoty na tranzistorech objevit (mimo spínací a rozpínací fáze), jinak dojde v řádu milisekund ke zničení všech tranzistorů, experimentálně ověřeno.

Na trhu se nepodařilo najít budič, který by splnil tyto požadavky, a proto byl navržen budič postavený z disktrétních součástek. Jeho zjednodušené blokové schéma je na obrázku I. Funkce je odvozena od hlavního řídicího signálu 1A, jež je generován mikrokontrolérem. Tento signál je zpracován generátorem zpoždění, jehož časování je odvozeno od parametrů HMS spínače (doby otevření, uzavření, zpoždění aj.). V zapojení je mimo jiné využito hranového buzení, které je zajištěno pomocí dvojice derivačních článků.

Při spínání HMS (Obrázek II.) přechází řídicí signál 1A do stavu log. 1 (5 V). Aby bylo možné přivést budící napětí na HMS, je nezbytné nejdříve rozepnout tranzistor Q2A pomocí signálu 3C. Následně je s patřičným zpožděním signálem 4A otevřen tranzistor Q5, který má za úkol držet sepnutý tranzistor Q2B. Nicméně toto sepnutí je díky odporovému děliči, omezující proud do tranzistoru Q5, pomalé. Aby bylo otevření HMS rychlé, tak je využito derivačního článku, jehož výstup 4B na krátký okamžik sepne tranzistor Q4. Tím je zajištěno velmi rychlé sepnutí tranzistoru Q2B, jehož řídicí signál 2Cz je též vyneseno v grafu. K sepnutí spínače HMS pomocí signálu 2Az v tomto načasování dojde se zpožděním přibližně 600 ns za řídicím signálem.



Obrázek II. Průběhy napětí řízení HMS během sepnutí (200ns/dílek)



Obrázek III. Průběhy napětí řízení HMS během rozeznutí (200ns/dílek)

Při rozpínání HMS (Obrázek III.) je princip funkce následující. Řídicí signál 1A přechází do stavu log. 0 (0 V). Signál 4A nejprve rozpojí přidržovací tranzistor Q5. Derivační člen buzený signálem 3A sepne pomocí signálu 3Bz tranzistor Q1, který rychle (200 ns) zavře tranzistor Q2B. Téměř současně je pomocí řídicího signálu 3C sepnut tranzistor Q2A, který uzemní řídicí napětí HMS spínače. Zde je důležité omezení minimálního závěrného napětí, tak aby nepřekročilo 20 V. To je dosaženo omezením napětí pomocí kombinace Zenerovy diody a rezistoru. V grafu je tato funkce patrná z rozdílu signálů 4Cz a 2Az. K úplnému uzavření regenerační smyčky tak dochází po přibližně 1,8 μ s.

III. ZÁVĚR

Budič hlavního spínače HMS se povedlo navrhnout a zkonstruovat. Jeho funkčnost byla ověřena jak v laboratoři, tak i za reálných podmínek během testování na vozidle. Z časových průběhů v grafech je patrné, že jsou dodrženy všechny napět'ové úrovně spínacích napětí, tak aby nedocházelo k degradaci spínacích členů namáháním limitními hodnotami napětí. V průběhu vývoje se ukázalo jako nezbytné použít omezení maximálního závěrného napětí pro řízení HMS pomocí paralelního spojení rezistoru se Zenerovo diodou, tak aby nebylo překročeno minimální přípustné závěrné napětí - 20 V během rozpínání HMS. Dále je z napět'ových průběhů patrné, že buzení tranzistoru Q3 není impedančně přizpůsobené a dochází při spínání k zakmitání. Nicméně na funkčnosti zařízení se to neprojeví a během EMC testů zařízení splnilo předepsanou normu pro maximální vyzářování do okolí.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-001: Výzkum a vývoj elektronických a komunikačních systémů ve vědeckých a inženýrských aplikacích.

LITERATURA

- [1] KŘIVKA, J., KŘIBSKÝ, P., VALDA, L., ŽAHOUR, J., KOSTURIK, K. Autonomous Control System of Electrically Regenerable Diesel Particulate Filter for Light Duty Vehicles. In *Proceedings of the 22nd Telecommunications Forum (TELFOR 2014)*. Belgrade: IEEE, 2014. s. 706-709. ISBN: 978-1-4799-6190-0
- [2] KŘIVKA, J., ELIS, L., ŽAHOUR, J. Nový řídicí systém pro elektricky regenerovatelné filtry pevných částic. In *Elektrotechnika a informatika 2014. Část 2., Elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. s. 37-40. ISBN: 978-80-261-0366-0
- [3] KŘIVKA, J., ŽAHOUR, J., KOSTURIK, K., FREDHOLM, S. Automatic detection of different mechanical ERDPF configurations. In *Proceedings of Papers : 2015 23rd Telecommunications Forum (TELFOR 2015)*. Piscataway: IEEE, 2015. s. 654-657. ISBN: 978-1-5090-0055-5
- [4] KŘIVKA, J., ŽAHOUR, J. Koncepce modulárního elektronického systému určeného k řízení ERDPF filtrů s proměnnou topologií. In *Elektrotechnika a informatika 2017. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017. s. 129-132. ISBN: 978-80-261-0712-5
- [5] KŘIVKA, J., ŽAHOUR, J. Metody návrhu kompaktního ERDPF filtru s důrazem na provozní podmínky elektronického systému. In *Elektrotechnika a informatika 2016. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2016. s. 117-120. ISBN: 978-80-261-0516-9
- [6] KŘIVKA, J., ŽAHOUR, J. Metodologie spínání sériových spínačů regeneračních elementů v aplikacích ERDPF filtrů. In *Elektrotechnika a informatika 2015. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. s. 165-168. ISBN: 978-80-261-0514-5