

АВТОМОБІЛЬНИЙ БОРТОВИЙ ОБМЕЖУВАЧ ЗАРЯДНОГО СТРУМУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

Г.К. Кальянов, к.т.н., ст. наук. співр., ХНАДУ

Анотація. Розглянуто структуру автомобільного бортового обмежувача зарядного струму акумуляторної батареї і його принцип дії. Сформульовано основні вимоги, яким повинні відповідати структурні блоки обмежувача.

Ключові слова: акумуляторна батарея, широтно-імпульсна модуляція, зарядний струм акумуляторної батареї, "buck"-перетворювач.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ БОРТОВОЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ ЗАРЯДНОГО ТОКА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Г. К. Кальянов, к.т.н., ст. научн. сотр., ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрена структура автомобильного бортового ограничителя зарядного тока аккумуляторной батареи и его принцип действия. Сформулированы основные требования, которым должны отвечать структурные блоки ограничителя.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, широтно-импульсная модуляция, зарядный ток аккумуляторной батареи, "buck"-преобразователь.

CAR ON-BOARD CHARGING CURRENT LIMITING BATTERY

G. Kalyanov, cand. eng. sc., senior research worker, KhNADU

Abstract. The structure of car on-board charging current limiter battery and its operating principle. The basic requirements to be met by building blocks delimitter.

Keywords: battery, pulse-width modulation, the charge current the battery, "buck"-converter.

Вступ

Добре відомо [1], що заряд автомобільної акумуляторної батареї (АКБ) підвищеним струмом згубно позначається на її технічному стані і, як наслідок, призводить до істотного скорочення терміну її експлуатації.

Питання обмеження величини зарядного струму АКБ на максимальному допустимому рівні, величина якого в A , як правило, становить 10% від ємності батареї в $A \cdot \text{год}$ [1], при стаціонарних умовах зарядки вирішується досить просто за допомогою існуючих технічних засобів. При здійсненні ж зарядки

(заряджання) батареї на борту автомобіля з працюючим двигуном для обмеження величини зарядного струму необхідна наявність спеціальних технічних засобів, якими повинна бути укомплектована штатна бортова система електропостачання автомобіля і яких в даний час не існує.

Величина зарядного струму акумуляторної батареї, встановленої на борту автомобіля, залежить від наступних факторів [2]:

- швидкості обертання ротора генератора;
- ефективності роботи системи стабілізації напруги в бортовій мережі автомобіля;
- сумарної споживаної потужності всіх

- включених бортових споживачів енергії;
- ступеня заряду АКБ.

Враховуючи той факт, що всі перераховані вище чинники в процесі експлуатації автомобіля змінюються в широких межах (за винятком, мабуть, діапазону зміни напруги в бортовій мережі, і то лише у випадку, якщо не перевищений максимум споживаної потужності від генератора), то стає зрозумілим, чому зарядний струм АКБ, встановленої на борту автомобіля, "гуляє" в широких межах і може часом досягати значень в кілька десятків ампер. Причому, навіть жорсткі вимоги до системи стабілізації бортової напруги практично не впливають на діапазон цього "гуляння" величини зарядного струму АКБ.

Все сказане вище робить вельми актуальною розробку спеціальних технічних засобів обмеження зарядного струму АКБ, включення яких до складу штатної системи електропостачання автомобіля, дозволило б істотно продовжити життя АКБ, що, в свою чергу, дозволило б підвищити ефективність експлуатації автотракторної техніки.

Структура бортового обмежувача зарядного струму АКБ

На рис. 1 представлений можливий варіант структури бортового обмежувача зарядного струму АКБ (надалі - обмежувача), розроблений на основі "buck" - перетворювача [3], до складу якої входять:

- джерело опорної напруги (ДОН);
- пристрій порівняння (ПП);
- драйвер силового ключа (ДСК);
- силовий ключ (СК);
- датчик струму (ДТ);
- індуктивний накопичувач енергії (L);
- зворотний діод (VD).

Принцип дії обмежувача базується на використанні широтно-імпульсної модуляції величини струму $I_{ЗАР}$, що тече в зарядному ланцюзі пристрою. При цьому середня величина цього струму $I_{СР}$ визначається як середнє арифметичне суми верхнього $I_{ВП}$ і нижнього $I_{НП}$ порогових значень струму, а величина його пульсацій - шириною діапазону зміни струму, величина якого визначається абсолютним значенням різниці зазначених порогових значень. Для забезпечення працездатності обмежувача, на базі вказаного

принципу дії, у пристрої порівняння ПП останнього проводиться порівняння напруги U_S , яка формується на виході датчика струму ДТ і величина якого пропорційна величині зарядного струму $I_{ЗАР}$ АКБ, з величинами порогових напруг верхнього $U_{ВП}$ і нижнього $U_{НП}$ рівнів. У свою чергу, значення цих напруг, що встановлюються на етапі регулювання, пропорційні заданим пороговим значенням зарядного струму $I_{ЗАР} - I_{ВП}$ і $I_{НП}$, відповідно.

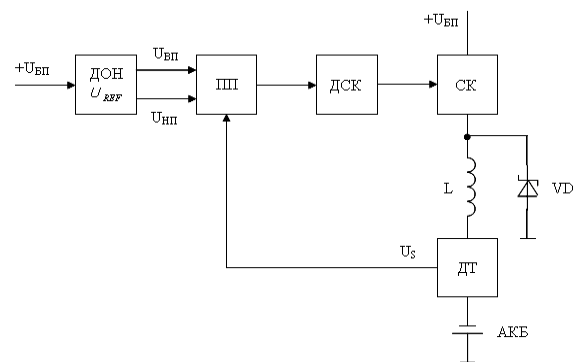


Рис. 1. Структура бортового обмежувача зарядного струму АКБ

Результат порівняння в пристрої порівняння ПП величин напруги U_S , $U_{ВП}$ і $U_{НП}$ визначає режим роботи транзистора силового ключа СК, який може знаходитися в одному з двох режимів: у режимі насичення або в режимі відсічки.

При знаходженні транзистора СК в режимі насичення (режимі максимальної провідності або режимі мінімального опору) відбувається заряд АКБ зростаючим струмом $I_{ЗАР}$ (з обмеженням величини струму на рівні $I_{ВП}$) при одночасному накопиченні енергії в індуктивному накопичувачі L .

При знаходженні транзистора СК в режимі відсічки (режимі відсутності провідності або режимі максимального опору) відбувається витрачання накопиченої раніше енергії в індуктивному накопичувачі на заряд АКБ у вигляді спадаючого зарядного струму $I_{ЗАР}$ (з обмеженням величини зарядного струму на рівні $I_{НП}$).

На рис. 2 представлена тимчасова діаграма зміни зарядного струму АКБ при роботі обмежувача, яка складається з циклів накопи-

чення і витрачання електричної енергії з тривалістю $\tau_{НАК}$ і $\tau_{РАС}$, відповідно, які чергуються у часі.

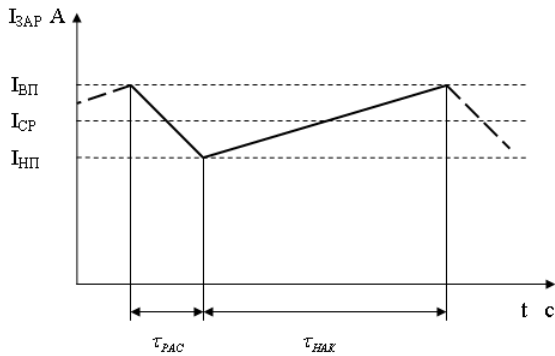


Рис. 2. Тимчасова діаграма роботи обмежувача

Розглянемо призначення та особливості технічної реалізації окремих вузлів пристрою.

Джерело опорної напруги (ДОН). Від характеристик цього блоку, що входить до складу структури обмежувача, залежать основні метрологічні характеристики останнього. Зокрема, від температурної стабільності формування опорної напруги U_{REF} , залежить температурна стабільність підтримки встановлених рівнів порогових напруг $U_{ВП}$ і $U_{НП}$, що подаються на входи відповідних аналогових компараторів пристрою порівняння, а значить, і стабільність відповідних порогових рівнів зарядного струму $I_{ВП}$ і $I_{НП}$.

З огляду на те, що діапазон робочих температур обмежувача відповідає діапазону зміни температури в моторному відсіку автомобіля, то вимоги до температурної стабільності роботи ДОН вельми жорсткі.

Крім того, на стабільність формування опорної напруги U_{REF} за допомогою ДОН істотно впливає нестабільність напруги $U_{БП}$ бортової системи живлення автомобіля, внаслідок чого при технічній реалізації даного блоку необхідно звернути увагу на мінімізацію і цієї складової похибки формування U_{REF} .

Пристрій порівняння (ПП). Пристрій порівняння складається з двох аналогових компараторів, кожен з яких здійснює порівняння вихідної напруги U_S датчика струму з відповідними значеннями порогових напруг верх-

нього $U_{ВП}$ і нижнього $U_{НП}$ рівнів. Результат цього порівняння управляє процесом установки на виході ПП напруги, що відповідає рівню логічної "1" або логічного "0", згідно з наступним алгоритмом.

1. Якщо поточний стан виходу ПП - "одиничний", то це свідчить про те, що в даний момент часу в обмежувачі реалізується цикл накопичення енергії за рахунок зростання зарядного струму, який буде тривати до тих пір, поки не спрацює компаратор верхнього рівня. Відповідна реакція апаратних засобів обмежувача на цю подію буде складатися у наступному: стан виходу ПП зміниться на протилежний, тобто стане "нульовим", відбудеться закриття транзистора силового ключа обмежувача, що свідчить про закінчення циклу накопичення енергії та переходу до циклу витрачання енергії в обмежувачі.

2. Якщо поточний стан виходу ПП - "нульовий", то це свідчить про те, що в даний момент часу в обмежувачі реалізується цикл витрачання раніше накопиченої енергії, що супроводжується спадом зарядного струму, який буде тривати до тих пір, поки не спрацює компаратор нижнього рівня. Відповідна реакція апаратних засобів обмежувача на цю подію буде складатися у наступному: стан виходу ПП зміниться на протилежний, тобто знову стане "одиничним", знову відбудеться відкриття транзистора силового ключа обмежувача, що свідчить про закінчення циклу витрачання енергії та переходу до циклу накопичення енергії в обмежувачі.

Драйвер силового ключа (ДСК). Даний блок обмежувача призначений для здійснення інтерфейсних функцій між вихідним сигналом пристрою порівняння ПП, з одного боку, і входом управління транзистором силового ключа СК, з іншого. Схемна особливість даного драйвера полягає в тому, що його вхідна керуюча напруга формується на виході пристрою порівняння відносно мінусовій шини ("земляного" проводу) бортової мережі автомобіля, а вихідна керуюча напруга – відносно плюсової шини бортової мережі автомобіля.

Зазначена особливість формування вихідної напруги при функціонуванні ДСК обумовлена способом управління ключовим транзистором, який повинен управляти струмом заземленого навантаження, яким в цьому випа-

дку є АКБ.

Силовий ключ (СК). Силовий ключ може бути реалізований на базі р-канального польового транзистора або біполярного транзистора з провідністю типу р-п-р і призначений для управління процесом формування зарядного струму $I_{ЗАР}$ акумуляторної батареї, мінусова клемма якої заземлена. При цьому параметри цього транзистора повинні відповідати таким основним вимогам:

- транзистор силового ключа повинен мати здатність пропускання максимального зарядного струму АКБ;
- опір ключа у відкритому стані повинен бути мінімальним;
- потужність, споживана ланцюгом управління транзистора СК повинна бути мінімальною.

Наведеним вище вимогам у максимальному ступені відповідають MOSFET- або IGBT-транзистори.

Датчик струму (ДТ). Датчик струму призначений для формування напруги U_S , величина якої пропорційна струму, який протікає через нього, тобто пропорційна зарядному струму $I_{ЗАР}$ АКБ. Дана напруга використовується в якості сигналу зворотного зв'язку в контурі автоматичного обмеження величини зарядного струму АКБ.

Основні вимоги до будь-якого токовому датчику - мінімальне значення вхідного опору і лінійність вихідної напруги в залежності від струму, який через нього тече. Цим вимогам найбільшою мірою відповідають сучасні датчики, що базуються на використанні ефекту Холла.

Призначення індуктивного накопичувача електричної енергії L не вимагає додаткових пояснень. Що ж до зворотнього діода VD , то для максимізації значення к.к.д. обмежувача необхідно використовувати, в якості останнього, діода Шотки, для якого характерні малі динамічні втрати при роботі на високій частоті, а також істотно менше, в порівнянні з кремнієвим діодом, значення падіння напруги при знаходженні діода в провідному стані.

Методика інженерного розрахунку параметрів обмежувача

Вихідними даними для розрахунку є:

- верхнє порогове (максимальне) значення зарядного струму $I_{ВП}$ АКБ, А;
- нижнє порогове (мінімальне) значення зарядного струму $I_{НП}$ АКБ, А;
- середнє значення зарядного струму $I_{СР}$ АКБ, А;
- тривалість циклу витрачання енергії τ_{PAC} , с.

Мета розрахунку – визначення величини індуктивності L накопичувача енергії та значення тривалості циклу накопичення енергії $\tau_{НАК}$.

Цикл витрачання енергії. Для циклу витрачання енергії, при якому відбувається заряд АКБ за рахунок енергії, накопиченої в індуктивному накопичувачі L під час циклу накопичення, характерно наступне співвідношення:

$$W_{PAC} = \frac{L(I_{ВП} - I_{НП})^2}{2} = (U_{АКБ} + U_{VD}) \cdot I_{СР} \cdot \tau_{PAC} \quad (1)$$

де L - індуктивність накопичувача енергії, Гн; $I_{ВП}$ - верхня межа (порог) значення зарядного струму АКБ, А; $I_{НП}$ - нижня межа (порог) значення зарядного струму АКБ, А; $U_{АКБ}$ - напруга на клеммах АКБ, В; U_{VD} - падіння напруги на діоді VD в провідному стані, В; $I_{СР}$ - середнє значення зарядного струму АКБ, яке може бути обчислено на підставі співвідношення $I_{СР} = (I_{ВП} + I_{НП})/2$, А; τ_{PAC} - тривалість циклу витрачання енергії, с.

Після перетворення співвідношення (1) до виду

$$L = 2 \frac{(U_{АКБ} + U_{VD}) \cdot I_{СР} \cdot \tau_{PAC}}{(I_{ВП} - I_{НП})^2} = 2 \frac{(U_{АКБ} + U_{VD}) \cdot I_{СР} \cdot \tau_{PAC}}{(I_{ВП} + I_{НП}) \cdot (I_{ВП} - I_{НП})} \quad (2)$$

є можливість, задаючись значенням часу циклу витрачання енергії τ_{PAC} , а також серед-

нім значенням зарядного току I_{CP} АКБ, визначити відповідну величину індуктивності накопичувача L .

Цикл накопичення енергії. Протягом часу циклу накопичення енергії τ_{HAK} відбувається заряд АКБ з одночасним накопиченням енергії в індуктивному накопичувачі L за рахунок витрачання енергії джерела бортового живлення транспортного засобу, тобто для даного циклу характерно співвідношення

$$W_{BP} = W_{VT} + W_{HAK} + W_{PAC},$$

звідки випливає, що

$$W_{HAK} = W_{BP} - W_{VT} - W_{ZAP}, \quad (3)$$

де $W_{BP} = U_{BP} \cdot I_{CP} \cdot \tau_{HAK}$ - енергія, що віддається джерелом бортового живлення в циклі накопичення; $W_{VT} = R_{VT} \cdot I_{CP}^2 \cdot \tau_{HAK}$ - енергія, що витрачається на нагрів транзистора VT силового ключа в циклі накопичення, який знаходиться при цьому в режимі насичення; $W_{HAK} = L(I_{BP} - I_{HP})^2 / 2$ - енергія, що накопичується в індуктивному накопичувачі L в циклі накопичення; $W_{ZAP} = U_{AKB} \cdot I_{CP} \cdot \tau_{HAK}$ - енергія, яка витрачається на заряд АКБ у циклі накопичення.

Після підстановки наведених вище співвідношень у вираз (3) і проведення відповідних перетворень, отримаємо:

$$W_{HAK} = (U_{BP} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{AKB}) \cdot I_{CP} \tau_{HAK}. \quad (4)$$

І нарешті, використовуючи співвідношення (1) і (4), а також враховуючи той факт, що величина енергії W_{HAK} , яка запасена на індуктивному накопичувачі L протягом циклу накопичення τ_{HAK} , дорівнює величині енергії W_{PAC} , яка використовується на заряд АКБ

протягом часу циклу витрачання τ_{PAC} , можна записати:

$$(U_{AKB} + U_{VD}) \cdot I_{CP} \cdot \tau_{PAC},$$

$$(U_{BP} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{AKB}) \cdot I_{CP} \cdot \tau_{HAK}. \quad (5)$$

Після проведення перетворень у співвідношенні (5) відносно параметра τ_{HAK} , отримаємо:

$$\tau_{HAK} = \frac{(U_{AKB} + U_{VD}) \cdot \tau_{PAC}}{U_{BP} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{AKB}}. \quad (6)$$

Вираз (6) дозволяє обчислити тривалість циклу накопичення енергії τ_{HAK} в індуктивному накопичувачі L виходячи із заданого середнього значення зарядного струму I_{CP} АКБ і, обчисленого раніше, значення тривалості циклу витрачання енергії τ_{PAC} .

Література

1. Электрооборудование автомобилей. Справочник А.В.Акимов, О.А.Акимов, С.В.Акимов и др. Под ред. Ю.П.Чижкова. – М.: Транспорт, 1993. – 35 с.
2. Єкимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. – М.: ООО Книжное издательство "За рулем", 2005. – 336 с.
3. Р. Мэк. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению. – М.: Додека, 2008. – 272 с.

Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 28 жовтня 2011 р.