

УДК 621.314

АВТОМОБІЛЬНИЙ БОРТОВИЙ ОБМЕЖУВАЧ ЗАРЯДНОГО СТРУМУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

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

Анотація. Розглянуто структуру автомобільного бортового обмежувача зарядного струму акумуляторної батареї та його принцип дії. Сформульовано основні вимоги, яким мають 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.науч.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, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Worker, KhNAHU

Abstract. The structure of car on-board charging current limiter battery and its operating principle is considered. Basic requirements to be met by building blocks delimeter are formulated.

Key words: battery, pulse-width modulation, charge current, battery, «buck»-converter.

Вступ

Добре відомо [1, 2], 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 максимально допустимому рівні, величина якого в амперах (А) для свинцевих АКБ, як правило, становить 10 % від ємності батареї в А·год [1], за стаціонарних умов зарядки вирішується досить просто – за допомогою широкого спектра існуючих технічних засобів. За здійснення ж зарядки (заряджання) батареї на борту автомобіля з працюючим двигуном для

обмеження величини зарядного струму необхідна наявність спеціальних технічних засобів, якими має бути укомплектована штатна бортова система електропостачання автомобіля. Але, на жаль, таких технічних засобів на сьогодні не існує.

Аналіз публікацій

Величина зарядного струму акумуляторної батареї, встановленої на борту автомобіля, залежить від таких факторів [1, 2]:

- швидкості обертання ротора генератора;
- ефективності роботи системи стабілізації напруги в бортовій мережі автомобіля;
- сумарної споживаної потужності всіх ввімкнених бортових споживачів енергії;
- ступеня заряду АКБ.

Враховуючи той факт, що всі вказані вище чинники у 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 у кілька десятків ампер. Причому навіть жорсткі вимоги до системи стабілізації бортової напруги практично не впливають на діапазон цього «гуляння» величини зарядного струму АКБ.

Мета і постановка задачі

Все сказане вище робить актуальною розробку спеціальних технічних засобів обмеження зарядного струму АКБ, включення яких до складу штатної системи електропостачання автомобіля дозволило б істотно продовжити життя АКБ, що, у свою чергу, сприяло б підвищенню ефективності експлуатації авто-тракторної техніки.

Структура бортового обмежувача зарядного струму АКБ

На рис. 1 представлено 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 якої є пропорційною 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, є пропорційними заданим пороговим значенням зарядного струму $I_{зар} - I_{вп}$ і $I_{нп}$ відповідно.

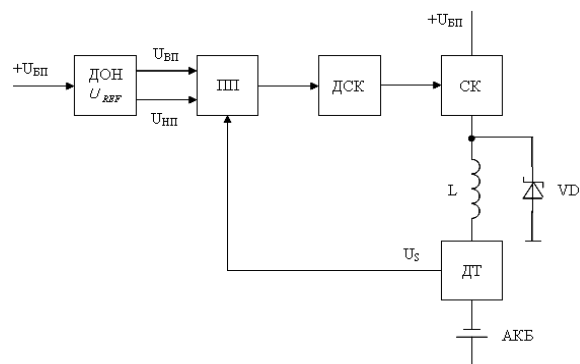


Рис. 1. Структура бортового обмежувача зарядного струму АКБ

Результат порівняння у 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 у режимі насичення (режимі максимальної провідності або режимі мінімального опору) відбувається заряд АКБ зростаючим струмом $I_{зар}$ (з обмеженням величини струму на рівні $I_{вп}$) за одночасного накопичення енергії в індуктивному накопичувачі L.

При знаходженні транзистора СК у 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 представлено часову діаграму зміни зарядного струму АКБ при роботі обмежувача, яка складається з циклів накопи-

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

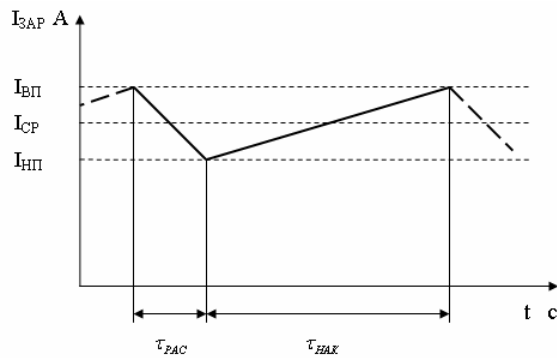


Рис. 2. Тимчасова діаграма роботи обмежувача

Розглянемо призначення та особливості технічної реалізації окремих вузлів пристрою.

Від характеристик джерела опорної напруги (ДОН), 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 $U_{\text{ВП}}$ і $U_{\text{НП}}$, що подаються на входи відповідних аналогових компараторів пристрою порівняння, а значить, і стабільність відповідних порогових рівнів зарядного струму $I_{\text{ВП}}$ і $I_{\text{НП}}$.

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

Крім того, на стабільність формування опорної напруги U_{REF} за допомогою ДОН істотно впливає нестабільність напруги $U_{\text{БП}}$ 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) складається з двох аналогових компараторів, кожен з яких здійснює порівняння вихідної напруги U_s датчика струму з відповідними значеннями порогових напруг верхнього $U_{\text{ВП}}$ і нижнього

$U_{\text{НП}}$ рівнів. Результат цього порівняння керує процесом установки на виході ПП напруги, що відповідає рівню логічної «1» або логічного «0», згідно з наведеним нижче 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 полягати 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 перехід 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 полягати 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 перехід до циклу накопичення енергії в обмежувачі.

Блок обмежувача (драйвер силового ключа ДСК) призначений для здійснення інтерфейсних функцій між вихідним сигналом пристрою порівняння ПП, з одного боку, і входом керування транзистором силового ключа СК, з іншого. Схемна особливість даного драйвера полягає у тому, що його вхідна керуюча напруга формується на виході пристрою порівняння відносно мінусової 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 керування ключовим тран-

зистором, який має керувати струмом заземленого навантаження, яким в цьому випадку є АКБ.

Силовий ключ (СК) може бути реалізований на базі p -канального польового транзистора або біполярного транзистора із провідністю типу $p-n-p$ і призначений для керування процесом формування зарядного струму $I_{\text{ЗАР}}$ акумуляторної батареї, мінусову клему якої заземлено. При цьому параметри цього транзистора повинні відповідати таким основним вимогам:

- транзистор силового ключа повинен мати здатність пропускати максимальний зарядний струм АКБ;
- опір ключа у відкритому стані повинен бути мінімальним;
- потужність, споживана ланцюгом керування транзистора СК, повинна бути мінімальною.

Наведеним вище вимогам максимально відповідають MOSFET- або IGBT-транзистори.

Датчик струму (ДТ) призначений для формування напруги U_s , величина якої є пропорційною струму, який протікає крізь нього, тобто пропорційною зарядному струму $I_{\text{ЗАР}}$ АКБ. Дана напруга використовується як сигнал зворотного зв'язку в контурі автоматичного обмеження величини зарядного струму АКБ.

Основні вимоги до будь-якого струмового датчика – мінімальне значення вхідного опору і лінійність вихідної напруги залежно від струму, який крізь 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 зворотного діода VD , то для максимізації значення ККД обмежувача необхідно використовувати, в якості останнього, діод Шотки, для якого характерні малі динамічні втрати при роботі за високої частоти, а також істотно менші, в порівнянні з кремнієвим діодом, значення падіння напруги при перебуванні діода у провідному стані.

Методика інженерного розрахунку параметрів обмежувача

Вихідними даними для розрахунку є:

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

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

Для циклу витрачання енергії, за якою відбувається заряд АКБ за рахунок енергії, накопиченої в індуктивному накопичувачі L під час циклу накопичення, є характерним наступне співвідношення

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

де L – індуктивність накопичувача енергії, Гн; $I_{\text{ВП}}$ – верхня межа (поріг) значення зарядного струму АКБ, А; $I_{\text{НП}}$ – нижня межа (поріг) значення зарядного струму АКБ, А; $U_{\text{АКБ}}$ – напруга на клеммах АКБ, В; U_{VD} – падіння напруги на діоді VD у провідному стані, В; $I_{\text{СР}}$ – середнє значення зарядного струму АКБ, яке можна обчислити на підставі співвідношення $I_{\text{СР}} = (I_{\text{ВП}} + I_{\text{НП}})/2$, А; $\tau_{\text{РАС}}$ – тривалість циклу витрачання енергії, с.

Після перетворення співвідношення (1) до виду

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

є можливість, задаючись значенням часу циклу витрачання енергії $\tau_{\text{РАС}}$, а також

середнім значенням зарядного струму I_{CP} АКБ, визначити відповідну величину індуктивності накопичувача L .

Протягом часу циклу накопичення енергії $\tau_{НАК}$ відбувається заряд АКБ з одночасним накопиченням енергії в індуктивному накопичувачі L за рахунок витрачання енергії джерела бортового живлення транспортного засобу, тобто для даного циклу є характерним співвідношення

$$W_{БП} = W_{VT} + W_{НАК} + W_{РАС},$$

звідки випливає, що

$$W_{НАК} = W_{БП} - W_{VT} - W_{ЗАР}, \quad (3)$$

де $W_{БП} = U_{БП} \cdot I_{CP} \cdot \tau_{НАК}$ – енергія, що віддається джерелом бортового живлення в циклі накопичення;

$W_{VT} = R_{VT} \cdot I_{CP}^2 \cdot \tau_{НАК}$ – енергія, що витрачається на нагрів транзистора VT силового ключа в циклі накопичення, який знаходиться при цьому в режимі насичення;

$W_{НАК} = L(I_{БП} - I_{НП})^2 / 2$ – енергія, що накопичується в індуктивному накопичувачі L в циклі накопичення;

$W_{ЗАР} = U_{АКБ} \cdot I_{CP} \cdot \tau_{НАК}$ – енергія, яка витрачається на заряд АКБ у циклі накопичення.

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

$$W_{НАК} = (U_{БП} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{АКБ}) \cdot I_{CP} \tau_{НАК}. \quad (4)$$

І, нарешті, використовуючи співвідношення (1) і (4), а також враховуючи той факт, що величина енергії $W_{НАК}$, запасеної на індуктивному накопичувачі L протягом циклу накопичення $\tau_{НАК}$, дорівнює величині енергії $W_{РАС}$, яка використовується на заряд АКБ протягом часу циклу витрачання $\tau_{РАС}$, можна записати

$$\begin{aligned} & (U_{АКБ} + U_{VD}) \cdot I_{CP} \cdot \tau_{РАС} = \\ & = (U_{БП} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{АКБ}) \cdot I_{CP} \cdot \tau_{НАК}. \end{aligned} \quad (5)$$

Після проведення перетворень у співвідношенні (5) відносно параметра $\tau_{НАК}$ отримаємо

$$\tau_{НАК} = \frac{(U_{АКБ} + U_{VD}) \cdot \tau_{РАС}}{U_{БП} - R_{VT} \cdot I_{CP} - U_{АКБ}}. \quad (6)$$

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

Висновки

Надано варіант структури бортового обмежувача зарядного струму АКБ. Наведено методику інженерного розрахунку параметрів бортового пристрою обмеження зарядного струму АКБ.

Література

1. Акимов А.В. Электрооборудование автомобилей: справочник / А.В. Акимов, О.А. Акимов, С.В. Акимов и др. – М.: Транспорт, 1993. – 36 с.
2. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. – М.: ООО Книжное издательство «За рулем», 2005. – 336 с.
3. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Р. Мэк. – М.: Додека, 2008. – 272 с.

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

Стаття надійшла до редакції 23 квітня 2012 р.