

Білоус А.Р., магістр, Смолянінов В.Г., к.т.н., доц.

Київський національний університет технологій та дизайну

МОДЕЛЬ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Анотація. Наведена методика побудови та аналізу моделі зарядного пристрою, що дозволяє визначити енергетичні характеристики та електричні параметри при заряді автономного джерела живлення.

Ключові слова: автономне джерело живлення; модель; базова структура; еквівалентна схема.

Bilous A.R., Smolyaninov V.G.

Kyiv National University of Technologies and Design

THE MODEL OF THE CHARGING DEVICE FOR THE AUTONOMOUS SOURCE SUPPLY

Abstract. Presents the method of build and analyze the model of the charging device, which makes it possible to determine the energetic characteristics and electric parameters at charging autonomous source supply.

Keywords: autonomous source supply; model; fundamental structure; the equivalent scheme.

Вступ. Безвідмовність та ефективність функціонування АДЖ в значній мірі залежить від ефективного перетворення, передачі та розподілення електроенергії, яке забезпечують перетворювачі напруги, що входять до складу ЗП АДЖ. Існує велика кількість різноманітних схем та засобів керування ЗП АДЖ, але недостатньо розглянуті питання керування ними з урахуванням електричних процесів, що відбуваються в них при заряді АДЖ, значному взаємному впливі електричних параметрів напруги та струму, нелінійному характері зміни цих параметрів та пов'язані з цим задачі зменшення енергоспоживання, підвищення надійності та адаптивності роботи ЗП АДЖ, потребує додаткових досліджень та розробки нових засобів ефективного керування та схемотехнічних рішень для їх реалізації, є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз перетворювача напруги в складі зарядного пристрою, який дозволяє забезпечити ефективний заряд АДЖ, включає, визначення параметрів струму та напруги на його вході, які забезпечують неперервний режим роботи ЗП АДЖ з максимальним ККД. В якості таких засобів використовують, як перетворювачі напруги мостового типу, які здійснюють реверсування струму в навантаженні і для створення шляху струму мають два керуючі елементи [1], так і перетворювачі напруги не реверсивного типу з регулятором напруги, де для створення шляху струму в навантаженні потрібні також два керуючих елемента, регулятор та інвертор [2]. Питання керування ними вирішується за допомогою кола зворотного зв'язку, яке контролює струм та напругу заряду АДЖ [3]. Аналіз характеристик заряду АДЖ [4] виявив, що зміна величини та форми напруги при заряді АДЖ має характерні ділянки та відповідні часові інтервали, які використовуються для формування імпульсів керування ЗП АДЖ.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показав, що для реалізації ефективного заряду АДЖ з використанням датчиків зворотного зв'язку, найбільш перспективним є отримання інформації та використання сигналів, що знімаються при зміні власних електричних параметрів АДЖ для формування імпульсів керування ЗП АДЖ та побудова моделі ЗП, що відслідковує ці зміни.

Постановка завдання. Задача дослідження полягає, в розробці базової структури напівпровідникового перетворювача (НП) зарядного пристрою АДЖ в тракці передачі енергії від джерела живлення до навантаження, знаходження зручної форми

представлення еквівалентної схеми заміщення для побудови моделі ЗП АДЖ та визначення вторинних параметрів, коефіцієнтів передачі напруги та струму.

Результати дослідження. Для побудови еквівалентної схеми заміщення напівпровідникового перетворювача (ЕСЗ НП) зарядного пристрою АДЖ, треба визначити базову структуру яка повинна містити в собі: керуючий елемент та коло зворотного зв'язку з джерелом опорної напруги, компаратор для порівняння поточного значення напруги АДЖ з опорним, а також комутуючий елемент для керування струмом та напругою навантаження.

Базова структура ЗП АДЖ, що наведена на рис. 1, містить: комутуючий елемент (VT1); амплітудний детектор (АД), виконуючий функцію опорного джерела напруги; аналоговий компаратора (АК), для порівняння поточного значення напруги АДЖ з опорним. Вихід компаратора з'єднується з керуючим електродом комутуючого елемента VT1.

Зобразимо НП, як чотириполюсник та розмістимо його між джерелом живлення та навантаженням. Зручність зображення НП у вигляді чотириполюсника, дозволяє застосувати теорію n-полюсників [5], що дає можливість обчислити внутрішні параметри електронних ланцюгів будь-якого ступеня складності, а також розв'язати складний n-полюсник, як з'єднання більш простих n-полюсників.

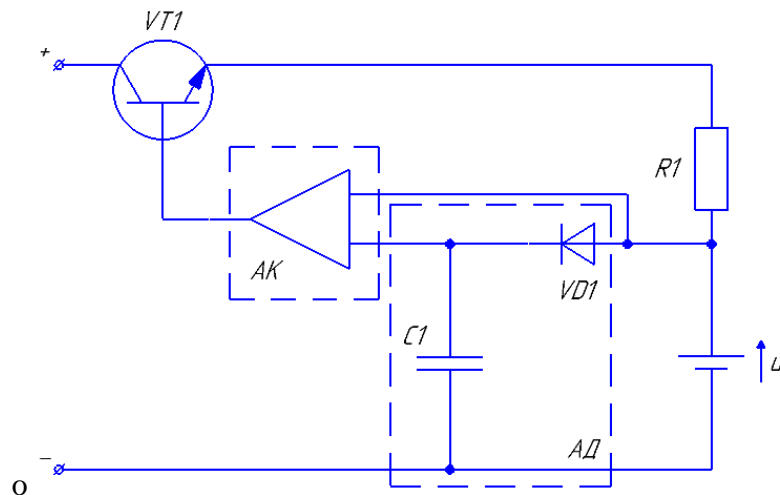


Рис. 1. Базова структура зарядного пристрою АДЖ

З теорії кіл [5], співвідношення між струмом та напругою на вході та виході чотириполюсника можливо визначити у формі $[A]$, яка використовується у випадку передачі електричної енергії від вхідних затискувачів до вихідних, коефіцієнти якої A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} можливо знайти за допомогою визначника та алгебраїчних доповнень матриці схеми. Щоб отримати матрицю схеми із базової структури ЕСЗ НП, використаємо метод еквівалентних схем [6], який дозволяє звести будь-яку електронну схему до схеми з двополюсними пасивними елементами та залежними джерелами струму або напруги.

Для того, щоб отримати еквівалентну схему зарядного пристрою (ЕСЗП), зробимо заміну активних елементів базової структури рис. 1. На низьких частотах еквівалентну схему біполярного транзистора можна подати Т-схемою заміщення, із залежним джерелом струму або напруги [7], це еквівалентна схема транзистора n-p-n типу з залежним джерелом струму, де α – коефіцієнт передачі струму. Операційний підсилювач (ОП), керуючий елемент базової структури, зобразимо як залежне джерело струму, що керується напругою (ЗДСКН) [8], для якого струм навантаження не залежить від вихідної

напруги і керується тільки вхідною напругою, якою буде напруга з АДЖ, а вихід операційного підсилювача з'єднаний з базовим електродом VT1, для керування його струмом. Пасивний елемент R_1 базової схеми для матриці провідності має вигляд: $G_1 = 1/R_1$ - провідність ланцюга навантаження. З урахуванням вище наведеного, зробимо перетворення базової структури ЗП АДЖ та отримаємо еквівалентну схему зарядного пристрою АДЖ, що наведена на рис.2, яку використаємо для аналізу енергетичних характеристик при різних режимах роботи комутуючого елемента (VT1)

Запишемо для ЕСЗП матрицю провідності за допомогою узагальненого методу вузлових напруг та виконаємо наступні операції [5, 7]: один з вузлів обираємо в якості базового, а інші нумеруємо, в нашому випадку від 1 до 4; запишемо матрицю провідності без урахування багатополюсних елементів (транзисторів та операційних підсилювачів); розглянемо по черзі багатополюсні елементи та відповідні елементи матриць багатополюсників, які запишемо в матрицю провідності з урахуванням положення, які вони займають у еквівалентній схемі; визначимо вхідні та вихідні полюса схеми та запишемо рівняння для відшукуємої функції.

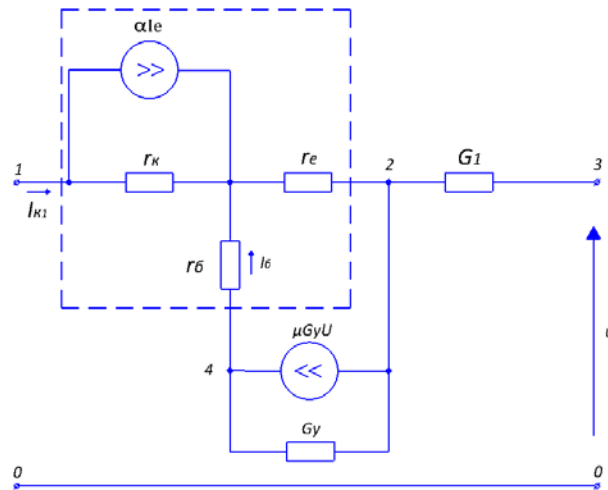


Рис. 2. Еквівалентна схема зарядного пристрою АДЖ

Складемо за наведеною методикою матрицю провідності для еквівалентної схеми ЗП АДЖ, на рис. 2. Після нумерації вузлів, використаємо матричні параметри моделі транзистора, як елементи її еквівалентної Т-схеми [7],

$$[Y]' = \frac{1}{Dr_1} \begin{matrix} & \begin{matrix} 2 & 1 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{b1} + r_{k1} & -r_{b1} & -r_{k1} \\ -(r_{b1} + a_1 r_{k1}) & r_{e1} + r_{b1} & a_1 r_{k1} + r_{e1} \\ -r_{k1}(1 - a_1) & -r_{e1} & r_{e1} + r_{k1}(1 - a_1) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

де $Dr_1 = r_{e1}(r_{b1} + r_{k1}) + r_{b1} \cdot r_{k1}(1 - a_1)$; a_1 - коефіцієнт передачі струму.

Запишемо матрицю провідності з урахуванням пасивних елементів схеми та параметрами операційного підсилювача АК, зображеного як ЗДСКН за відомим

трафаретом запису [8]: $\left\{ \begin{matrix} (g, p) \\ (r, t) \end{matrix} \right\} / \left\{ \begin{matrix} (g, t) \\ (r, p) \end{matrix} \right\}$ де g, p, r, t – номери вузлів схеми до яких

підключений операційний підсилювач, де у напрямку зворотному до керуючої напруги U , підключено у паралель джерело струму $\mu G_y U$ та внутрішня провідність G_y схеми. Для схеми ЗДСКН зроблено допущення, що вихідний опір дорівнює безкінечності, а параметр μ – статичний коефіцієнт підсилення [8], величина паспортна для обраного типу ОП.

Матриця провідності для еквівалентної схеми на рис. 2, прийме вигляд на рис. 3, де вхідний вузол має індекс – 1, а вихідний – 3. Так як матриця провідності квадратична четвертого порядку то найбільш доцільно знаходити її визначник та алгебраїчні доповнення числовими методами з використанням ЕОМ.

Після знаходження коефіцієнтів чотириполюсника $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ моделі ЗП АДЖ, можливо визначити параметри вхідного джерела живлення, рис. 1.

$$U_1 = A_{11} \cdot U_2 + A_{12} \cdot I_2 = \frac{\Delta_{11}}{\Delta_{13}} U_2 + \frac{\Delta_{11,33}}{\Delta_{13}} I_2, \quad (1)$$

$$I_1 = A_{21} \cdot U_2 + A_{22} \cdot I_2 = \frac{\Delta_{21}}{\Delta_{13}} U_2 + \frac{\Delta_{21,33}}{\Delta_{13}} I_2, \quad (2)$$

де U_1, I_1 – напруга та струм вхідного джерела живлення; U_2, I_2 – напруга та струм на навантаженні ЗП АДЖ.

	1	2	3	4
1	$\frac{r_{e1} + r_{\beta 1}}{Dr_1}$	$-\frac{a_1 r_{\kappa 1} + r_{\beta 1}}{Dr_1}$		$\frac{a_1 r_{\kappa 1} - r_{e1}}{Dr_1}$
2	$-\frac{r_{\beta 1}}{Dr_1}$	$\frac{r_{\beta 1} + r_{\kappa 1}}{Dr_1} + G_1 + G_y$	$\mu G_y - G_1$	$-\frac{r_{\kappa 1}}{Dr_1} - G_y$
3		$-G_1$	G_1	
4	$-\frac{r_{e1}}{Dr_1}$	$-\frac{r_{\kappa 1}(1 - a_1)}{Dr_1} + G_y$	$-\mu G_y$	$\frac{r_{e1} + r_{\kappa 1}(1 - a_1)}{Dr_1} + G_y$

Рис. 3. Матриця провідності еквівалентної схеми зарядного пристрою АДЖ

Вирази (1) та (2), дозволяють визначити енергетичні характеристики джерела живлення, які забезпечать необхідні електричні параметри на навантаженні.

Для запису матриці провідності базової структури рис. 1, коли комутуючий елемент (VT1) увійшов в насичення та не підсилює сигнал базового струму, джерело струму з Т – схеми заміщення транзистора виключається [7]. В іншому матриця провідності формується аналогічно вище наведеному.

Аналіз енергетичних характеристик тракту перетворення енергії за допомогою моделі ЗП АДЖ, зручно виконати через зміну вторинних параметрів еквівалентної схеми прив'язаної до чотириполюсника, крізь визначник та алгебраїчні доповнення матриці провідності.

В якості вторинних параметрів будемо розглядати коефіцієнти передачі напруги (K_u) та струму (K_i) [7], які визначимо за допомогою

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1}{A_{12} + A_{11} R_1} = \frac{\Delta_{13} R_1}{\Delta_{11,33} + \Delta_{11} R_1}, \quad (3)$$

$$K_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{A_{22} + A_{21} R_1} = \frac{\Delta_{13}}{\Delta_{33} + \Delta R_1}, \quad (4)$$

де R_l – опір кола навантаження.

Після знаходження визначника та алгебраїчних доповнень з матриці провідності $[Y]$, при спільному їх розгляді, вирази (3, 4) для коефіцієнтів K_u та K_i приймуть вигляд

$$K_u = \frac{r_{e1} r_{k1} + (r_{\beta 1} + r_{e1}) G_y D_{r1}}{[(r_{e1} - \alpha_1 r_{k1})] \mu G_y D_{r1}}, \quad (5)$$

$$K_i = \frac{1}{1 + \frac{(r_{\beta 1} + r_{e1})(r_{k1} + G_y D_{r1}) r_{\beta 1} R_1}{[(r_{\beta 1} + r_{e1})(r_{k1} + G_y D_{r1}) + (r_{e1} - \alpha_1 r_{k1}) r_{\beta 1}] D_{r1}}}, \quad (6)$$

Для базової структури ЗП АДЖ, рис. 1, у всіх режимах роботи комутуючого елемента (VT1), весь струм передається від джерела живлення до навантаження. За цієї умови з виразів (5, 6) відбувається вибір параметрів μ та G_y операційного підсилювача, який задовольняє цим параметрам. При цьому, по заданому струму в навантаженні та величині навантаження, обираємо транзистор (VT1), параметри якого використаємо для розрахунку K_u .

За допомогою отриманих виразів проведено розрахунки з залученням даних для транзистора (VT1) [9]. При зміні K_u від 0,69 до 0,967, при напрузі на навантаженні, що дорівнює $U_2 = 30$ В, та зміні вхідної напруги U_1 від 43,47 до 31,02, видно, що K_u збільшується при переході транзистора із активного режиму в режим насичення і досягає при насиченні транзистора величини близької до одиниці ($K_u = 0,967$), що узгоджується з практичними даними, коли падіння напруги при протіканні прямого струму на кремнієвих транзисторах досягає $1 \div 2$ В [9]. Коефіцієнт передачі напруги K_u , при передачі усього вхідного струму на вихід чотириполюсника, є основним параметром, який визначає енергетичні характеристики ЗП АДЖ, як джерела живлення та керування зарядом АДЖ.

Висновок. В результаті проведеного аналізу, показано, що модель ЗП АДЖ в тракці передачі енергії, потребує розробки базової структури, яка враховує схемотехнічні параметри та режими роботи комутуючих елементів ЗП АДЖ, розробки еквівалентних схем для різних режимів роботи активних елементів і визначення для них матриці провідності, що дозволяє застосувати в тракці передачі енергії, чотириполюсник в формі $[A]$, коефіцієнти якого дозволяють зв'язати електричні параметри джерелом живлення та навантаження ЗП АДЖ.

Список використаної літератури

1. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник / О. О. Шавьолкін; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. Ю. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2015. – 403 с.
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: профессиональные решения / Б. Ю. Семенов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.
3. Сенько В. І. Електроніка і мікросхемотехніка: у 4-х томах: навчальний посібник / В. І. Сенько, М. В. Панасенко, Є. В. Сенько та ін.; за ред. В. І. Сенько. – К.: Каравела, 2012. – Том 4. Електроніка. Книга 1. Силова електроніка. – 640 с.

4. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы / Д. А. Хрусталеv. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
5. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники: учебное пособие / Г. И. Атабеков. – СПб.: Лань, 2009. – 592 с.
6. Коваль Ю. О. Основи теорії кіл: підручник / Ю. О. Коваль, Л. В. Гринченко, І. О. Милотченко, О. І. Рибін. – Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2004. – Ч. 1. – 436 с.
7. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем: учебное пособие / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – К.: Вища школа, 1971. – 568 с.
8. Калниболотский Ю. М. Проектирование электронных схем: учебное пособие / Ю. М. Калниболотский, В. С. Рысин. – К.: Техніка, 1976. – 144 с.
9. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Издательский дом "Додэка – XXI", 2005. – 384 с.