

Таким чином, можливо побудувати реальний ЦВОА, параметри та характеристики якого дозволяють йому конкурувати з вимірниками прискорень інших типів, які сьогодні на ринку.

Література

1. Демьяненко П.А., Зиньковский Ю.Ф., Прокофьев М.И. Прецизионный цифровой акселерометр с волоконно-оптическим датчиком. // Радиоэлектроника. Известия высш. учеб. заведений. – 1997. – Т. 40. – № 1. – С. 39-47.
2. Левитский Н.И. Колебания в механизмах. Учеб. пособие для вузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1988. – 336 с.
3. Ривкин С.С. Теория гироскопических устройств. Ч. 1-2. – Л.: Судостроение. – 1962-1964. – 142 с.
4. Парс Л. Аналитическая динамика. Пер с англ.. К. А. Лурье. – М.: Наука. – 1971. – 635 с.

Чубарев О.А. Аналітичні розрахунки динаміки волоконно-оптичного акселерометра. Проведено аналітичний розрахунок руху волоконно-оптичного акселерометра та вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, таких як удари і вібраційні навантаження.

Ключові слова: Акселерометр, динаміка ВОА, удари і вібраційні навантаження

Чубарев О.А. Аналитический расчет динамики волоконно-оптического акселерометра. Проведен аналитический расчет движения волоконно-оптического акселерометра и влияние внешних дестабилизирующих факторов, таких как удары и вибрационные нагрузки.

Ключевые слова: Акселерометр, динамика ВОА, удары и вибрационные нагрузки

Chubarev O.A. Analytical calculation of motion fiber optic accelerometer. An analytical calculation of motion fiber optic accelerometer and impact of external destabilizing factors, such as impacts and vibration loads.

Key words: Accelerometer, FOA motion, impacts and vibration loads,

УДК 621.317

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ТА АНАЛІЗУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ

Зіньковський Ю.Ф., Смолянінов В.Г., Біденко В.А.

Безвідмовність та ефективність функціонування РЕЗ в значній мірі залежить від ефективного перетворення, передачі та розподілення електроенергії, яке забезпечують перетворювачі напруги, що входять до складу РЕЗ.

Постановка задачі

Аналіз перетворювача напруги, який дозволяє забезпечити живлення та керування РЕЗ з виконуючими пристроями та без них включає, визначення параметрів струму та напруги на його вході, які забезпечують неперервний режим роботи РЕЗ з максимальним ККД. В якості таких засобів використовують, як перетворювачі напруги мостового типу, які здійснюють реверсування струму в навантаженні і для створення шляху для струму мають два керуючі елементи [1], так і перетворювачі напруги не реверсивного типу з

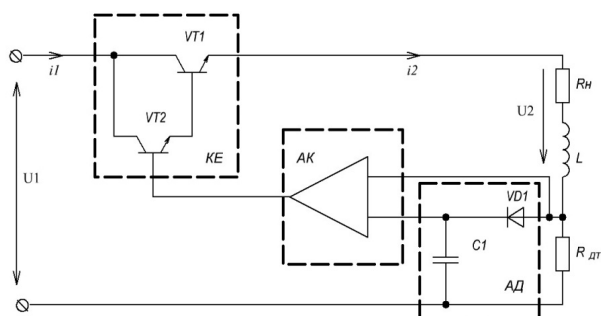


Рис. 1

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 навантаження РЕЗ.

Задача дослідження полягає, в розробці базової структури керуючого напівпровідникового перетворювача напруги (КНПН), визначення його місця в тракті перетворення енергії, знаходження зручної форми представлення еквівалентної схеми заміщення для побудови математичної моделі КНПН і визначення вторинних параметрів, коефіцієнтів передачі напруги та струму.

Теоретичні виклади

Для побудови математичної моделі КНПН треба визначити базову структуру та еквівалентні схеми її заміщення. Базова структура повинна містити в собі коло зворотного зв'язку, елементами якого є: датчик струму в колі навантаження, джерело опорного струму, компаратор для порівняння поточного значення струму з опорним, а також комутуючий елемент для керування струмом навантаження.

Таким чином, базова структура КНПН, контролююча струм в РЕЗ буде містити, рис. 1: ключовий елемент (КЕ), для підвищення ККД перетворювача, виконаний по схемі Дарлінгтона з потужним транзистором VT1, для комутації великих струмів навантаження; датчика струму (Rдт); амплітудного детектора (АД), виконуючого функцію опорного джерела, компаратора (АК), для порівняння поточного з Rдт та опорного значень струму навантаження. Вихід компаратора з'єднується з керуючим електродом КЕ.

Зобразимо керуючий напівпровідниковий перетворювач, як чотирьохполюсник та розмістимо його між джерелом живлення та навантаженням, рис. 2. З теорії кіл [3], співвідношення між струмом та напругою на вході та виході чотирьохполюсника можливо визначити у відомих шести формулах [A], [B], [H], [G], [Y], [Z].

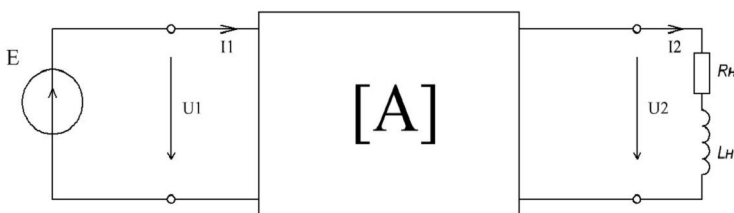


Рис. 2

Найбільш доцільна для розгляду форма [A], яка використовується у випадку передачі електричної енергії від вхідних затискувачів до вихідних.

Форма [A], в матричній формі має вигляд

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix},$$

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

Зручність зображення КНПН у вигляді чотирьохполюсника дозволяє використати теорію схем та застосувати теорію n -полюсників [3], 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.

При живленні та керуванні навантаженням за допомогою КНПН, математична модель якого має вигляд чотирьохполюсника, рис. 2, необхідно знайти його коефіцієнти $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$. Якщо використати визначник та алгебраїчні доповнення матриці схеми, то матриця чотирьохполюсника у формі [A] має вигляд

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta_{aa}}{\Delta} & \frac{\Delta_{aav}}{\Delta} \\ \frac{\Delta_{va}}{\Delta} & \frac{\Delta_{vv}}{\Delta} \end{bmatrix},$$

де a — індекс вхідного вузла; v — індекс вихідного вузла.

Щоб отримати матрицю схеми із базової структури КНПН, рис. 1, використаємо метод еквівалентних схем [4], який дозволяє звести будь-яку електронну схему до схеми з двополюсними пасивними елементами та залежними джерелами струму або напруги.

На низьких частотах транзистор можна подати Т-схемою заміщення, із залежним джерелом струму або напруги [4]. Для нашого випадку, це еквівалентна схема транзистора n - p - n типу з залежним джерелом струму, де α – коефіцієнт передачі струму. Операційний підсилювач (ОП), на рис. 1, керуючий елемент базової структури, зобразимо як залежне джерело струму керуємо напругою (ЗДСКН) [5], для якого струм навантаження не залежить від вихідної напруги і керується тільки вхідною напругою. Для нашого випадку, вхідною напругою буде напруга з $R_{дт}$, а вихід операційного підсилювача з'єднан з базовим електродом КЕ, для керування його струмом.

Операційний підсилювач ЗДСКН, можна зобразити як чотирьохполюсник [5], на вхідні затискачі якого p та t подається керуюча напруга, а до затискачів g та r у напрямку зворотньому 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 [5], величина паспортна для обраного типу ОП.

З урахуванням вище наведеного, зробимо перетворення базової структури КНПН та отримаємо еквівалентні схеми, які використаємо в математичній моделі для аналізу енергетичних характеристик КНПН при різних режимах роботи транзисторів КЕ.

Для того, щоб отримати еквівалентні схеми КНПН (ЕС КНПН), зробимо заміну активних елементів базової структури на рис. 1. Для випадку активного режиму роботи транзисторів КНПН, еквівалентна схема прийме вигляд, рис. 3.

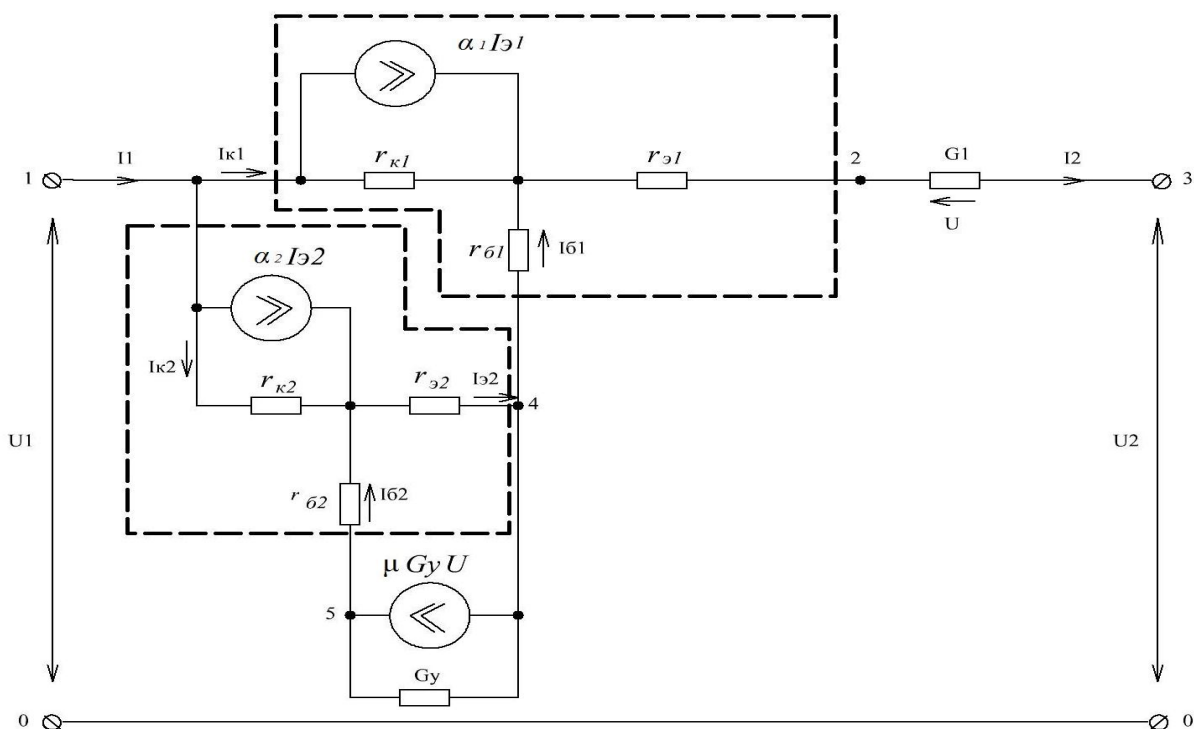


Рис. 3

Запишемо для ЕС КНПН матрицю провідності за допомогою узагальненого методу вузлових напруг та виконаємо наступні операції [3,4]:

- 1) один з вузлів обираємо в якості базового, а інші нумеруємо, в нашому випадку від 1 до 5;
- 2) запишемо матрицю провідності без урахування багатополюсних елементів (транзисторів та операційних підсилювачів);
- 3) розглянемо по черзі багатополюсні елементи та відповідні елементи матриць багатополюсників, які запишемо в матрицю провідності з урахування положення, які вони займають у еквівалентній схемі;
- 4) визначимо вхідні та вихідні полюса схеми та запишемо рівняння для відшукуємої функції.

Складемо за наведеною методикою матрицю провідності для еквівалентної схеми на рис.3. Після нумерації вузлів, використаємо матричні параметри математичної моделі транзистора, як елементи її еквівалентної Т-схеми [4], для активного режиму роботи транзистора VT1

$$[Y]' = \frac{1}{Dr_1} \begin{matrix} & \begin{matrix} 2 & 1 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 4 \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline r_{\delta 1} + r_{\kappa 1} & -r_{\delta 1} & -r_{\kappa 1} \\ \hline -(r_{\delta 1} + \alpha_1 \cdot r_{\kappa 1}) & r_{\delta 1} + r_{\delta 1} & \alpha_1 \cdot r_{\kappa 1} + r_{\delta 1} \\ \hline -r_{\kappa 1}(1 - \alpha_1) & -r_{\delta 1} & r_{\delta 1} + r_{\kappa 1}(1 - \alpha_1) \\ \hline \end{array} \end{matrix}$$

де $Dr_1 = r_{\delta 1}(r_{\delta 1} + r_{\kappa 1}) + r_{\delta 1} \cdot r_{\kappa 1}(1 - \alpha_1)$.

Відповідно для активного режиму роботи VT2

$$[Y]'' = \frac{1}{Dr_2} \begin{matrix} & \begin{matrix} 4 & 1 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 4 \\ 1 \\ 5 \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline r_{\delta 2} + r_{\kappa 2} & -r_{\delta 2} & -r_{\kappa 2} \\ \hline -(r_{\delta 2} + \alpha_2 \cdot r_{\kappa 2}) & r_{\delta 2} + r_{\delta 2} & \alpha_2 \cdot r_{\kappa 2} + r_{\delta 2} \\ \hline -r_{\kappa 2}(1 - \alpha_2) & -r_{\delta 2} & r_{\delta 2} + r_{\kappa 2}(1 - \alpha_2) \\ \hline \end{array} \end{matrix}$$

де $Dr_2 = r_{\delta 2}(r_{\delta 2} + r_{\kappa 2}) + r_{\delta 2} \cdot r_{\kappa 2}(1 - \alpha_2)$.

Запишемо матрицю провідності з урахуванням пасивних елементів схеми та параметрів операційного підсилювача АД, зображеного як ЗДСКН за відомим трафаретом запису [5] $\left\{ \begin{matrix} (g, p) \\ (r, t) \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} (g, t) \\ (r, p) \end{matrix} \right\}$ де g, p, r, t – номери вузлів схеми до яких підключений операційний підсилювач. Матриця провідності для еквівалентної схеми на рис. 3, наведена на рис.4.

	1	2	3	4	5
1	$\frac{r_{\delta 1} + r_{\delta 1}}{Dr_1} + \frac{r_{\delta 2} + r_{\delta 2}}{Dr_2}$	$-\frac{a_1 r_{\kappa 1} + r_{\delta 1}}{Dr_1}$		$\frac{a_1 r_{\kappa 1} - r_{\delta 1}}{Dr_1}$	$\frac{a_2 r_{\kappa 2} - r_{\delta 2}}{Dr_2}$
2	$-\frac{r_{\delta 1}}{Dr_1}$	$\frac{r_{\delta 1} + r_{\kappa 1}}{Dr_1} + G1$	$-G1$	$-\frac{r_{\kappa 1}}{Dr_1}$	
3		$-G1$	$G1$		
4	$-\frac{r_{\delta 1}}{Dr_1}$ $-\frac{r_{\delta 2}}{Dr_2}$	$-\frac{r_{\kappa 1}(1 - a_1)}{Dr_1} + \mu Gy$	$-\mu Gy$	$\frac{r_{\delta 1} + r_{\kappa 1}(1 - a_1)}{Dr_1} + \frac{r_{\delta 1} + r_{\kappa 2}}{Dr_2} + Gy$	$-\frac{r_{\kappa 2}}{Dr_2} - Gy$
5	$-\frac{r_{\delta 2}}{Dr_2}$	$-\mu Gy$	μGy	$-\frac{r_{\kappa 2}(1 - a_2)}{Dr_2} - Gy$	$\frac{r_{\delta 2} + r_{\kappa 2}(1 - a_2)}{Dr_2} + Gy$

Рис. 4.

В наведеній матриці вхідний вузол a має індекс 1, а вихідний b — 3.

Так як матриця провідності квадратна 5-го порядку, то доцільно знаходити її визначник та алгебраїчні доповнення числовими методами.

Після знаходження коефіцієнтів A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} математичної моделі КНПН, можна визначити параметри вхідного джерела живлення, рис. 2.

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

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

де U_1, I_1 — напруга та струм вхідного джерела живлення; U_2, I_2 — напруга та струм на навантаженні РЕЗ.

Вирази (1) та (2), дозволяють визначити енергетичні характеристики джерела живлення, які забезпечать необхідні електричні параметри на навантаженні РЕЗ. Для запису матриці провідності базової структури (рис. 1), коли транзистори КЕ увійшли в насичення та не підсилюють сигнал базового струму КЕ, джерело струму з Т-схеми заміщення транзистора виключається [4]. В іншому матриця провідності формується аналогічно вище наведеному.

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

В якості вторинних параметрів КНПН будемо розглядати коефіцієнти передачі напруги (Ku) та струму (Ki) [4], які визначимо за допомогою

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

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

де Z_H — повний опір кола навантаження.

Після знаходження визначника та алгебраїчних доповнень з матриці провідності $[Y]$, при спільному їх розгляді, вирази для коефіцієнтів Ku та Ki приймуть вигляд

$$Ku = \frac{(r_{k2} \cdot r_{k1} + r_{\delta 2} \cdot r_{k2}) Z_H}{r_{\delta 2} \cdot r_{k1} \cdot r_{k2} + (r_{k1} + r_{k2}) r_{\delta 2} \cdot Z_H} \quad (5)$$

$$Ki = \frac{r_{k1} \cdot r_{k2}}{r_{\delta 2} (r_{k1} + r_{k2}) \cdot \left[1 + \left\{ \mu Gy \left(1 + \frac{r_{\delta 1} \cdot r_{k2} + r_{\delta 1} \cdot r_{k1}}{r_{\delta 1} (r_{k1} + r_{k2})} \right) - \frac{1}{r_{\delta 1}} \right\} Z_H \right]}. \quad (6)$$

Для базової структури КНПН, рис. 1 після аналізу її роботи, та розгляду математичної моделі, виходить, що $Ki=1$, у всіх режимах роботи транзисторів КЕ, так як весь струм передається від джерела живлення до навантаження. За цієї умови у виразах (4) та (6) відбувається вибір параметрів μ та

Су операційного підсилювача, який задовольняє цим параметрам. При цьому, по заданому струму в навантаженні та величині навантаження, обираємо транзистори КЕ, параметри яких у виразах (3) та (5), використовуємо для розрахунку K_u .

Таким чином, за умови передачі усього вхідного струму на вихід чотирьохполосника, основним параметром визначаючим енергетичні характеристики КНПН, як джерела живлення та керування РЕЗ, стає коефіцієнт передачі напруги K_u . За допомогою отриманих виразів (3) та (5) проведемо математичні розрахунки які відображають зміну величини живлючої напруги РЕЗ в функції K_u : ($U_1=U_2/K_u$), де в якості транзисторів, як приклад, обрані КТ807Б-ВТ1 та КТ315И-ВТ2 (рис.1), зі своїми параметрами та величиною навантаження $Z_n=135$ Ом, отримані дані наведені в таблиці

Таблиця

$K_u \backslash U_2, В$	30	40	50	60
0,69	43,47	57,97	72,46	86,95
0,816	36,76	49,01	61,27	73,52
0,869	34,52	46,02	57,53	69,04
0,967	31,02	41,36	51,7	62,04

Як видно з таблиці, K_u збільшується при переході транзисторів із активного режиму в режим насичення і досягає при насиченні транзисторів величини близької до одиниці ($K_u = 0,967$), що узгоджується з практичними даними, коли падіння напруги при протіканні прямого струму на кремнієвих транзисторах сягає $1 \div 2$ В [1,2] та співпадає з числовими даними наведеними в таблиці, які показують, що для забезпечення потрібної величини напруги на навантаженні РЕЗ величина вихідної напруги джерела живлення повинна в $1/K_u$ раз її перевищувати. Тобто величина K_u характеризує, як режим роботи транзисторів базової структури КНПН, так і його енергетичні характеристики, відповідає при $K_i=1$, коефіцієнту корисної дії.

Висновки

Наведена методика побудови та аналізу математичної моделі перетворювача напруги яка дозволяє, зв'язати енергетичні характеристики джерела живлення та навантаженням РЕЗ з урахуванням схемотехнічних параметрів та режимів роботи керуючих елементів перетворювача та визначити їх параметри струму та напруги. Розглянута послідовність та наведені необхідні операції за допомогою яких: побудована базова структура КНПН, яка дозволяє реалізувати керування та живлення РЕЗ; розроблені еквівалентні схеми КНПН для різних режимів роботи транзисторів КЕ та визначені для них матриці провідності; розроблена математична модель КНПН в тракці перетворення енергії, як чотирьохполосник в формі [А], коефіцієнти якого дозволяють зв'язати електричні параметри джерелом живлення та навантаження РЕЗ. Наведено, що енергетичні характеристики КНПН в залежності від ре-

жиму роботи транзисторів КЕ, відображає коефіцієнт передачі напруги K_u , за умови $K_i=1$, тотожний ККД перетворювача напруги.

Література

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. - К.: Вища школа. - 1978. — 424с.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М.: Высш. Школа. - 1982. - 496с.
3. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. М: Энергия. - 1964. 312с.
4. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электронных схем. - К.: Техника.- 1971. - 568с.
5. Калниболотский Ю.М., Рысин В.С. Проектирование электронных схем. - К.: Техніка. - 1976. - 143с.

Зиньковський Ю.Ф., Смолянінов В.Г., Біденко В.А. Методика побудови та аналізу математичної моделі перетворювача напруги. Наведена методика побудови та аналізу математичної моделі перетворювача, що дозволяє визначити енергетичні характеристики та електричні параметри джерела живлення РЕЗ.

Ключові слова: математична модель, базова структура, еквівалентна схема.

Зиньковский Ю.Ф., Смолянинов В.Г., Биденко В.А. Методика построения и анализа математической модели преобразователя напряжения. Приведена методика построения и анализа математической модели преобразователя для определения энергетических характеристик и электрических параметров источника питания РЕС.

Ключевые слова: математическая модель, базовая структура, эквивалентная схема.

Zinkovskiy Y.F., Smolyaninov V.G., Bidenko V.A. The mathematic model of the building and analyze make use of the converter voltage. This article presents methodize and analyze of the results for the connection source energy with execution devices through the operation transmitter.

Key words: mathematic model, fundamental structure, the equivalent scheme.