

9. Pascale D. A review of RGB color spaces...from xyY to R'G'B'. – Montreal: BabelColor Company, 2003. – 35 p.
10. Sharma G. (ed.) Digital Color Imaging Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2003. – 764 p.
11. Байдичева О.В. Определение биологически активных веществ и контроль качества продукции методами, основанными на цифровом видеосигнале: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Воронеж: ВГУ, 2009. – 18 с.
12. MTCS-ME1 modEVA-Kit with JENCOLOR Sensors. Technical Documentation. V 1.67 Jena, Germany, MAZeT GmbH, 2008. – 25 p.
13. PMГ 61–2003. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 51 с.
14. Muravyov S.V., Gavrilenko N.A., Spiridonova A.S., Silushkin S.V., Ovchinnikov P.G. Colorimetric scales for chemical analysis on the basis of transparent polymeric sensors // Journal of Physics: Conference Series. – 2010. – V. 238. – № 1. – P. 012051. – 6 p.

Поступила 09.03.2011 г.

УДК 537.1:537.3

РАСШИРЕННЫЙ МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОСТОЯННЫХ ТОКАХ

Г.В. Носов, Е.О. Кулешова

Томский политехнический университет

E-mail: nosov@tpu.ru

Приведен расширенный метод эквивалентного генератора, позволяющий определить ток в нагрузке и мощность в исходной цепи. Предложена схема замещения активного двухполюсника эквивалентным генератором и приведены расчетные формулы определения ее параметров.

Ключевые слова:

Метод эквивалентного генератора, активный двухполюсник, напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, мощность.

Key words:

Method of the equivalent generator, active two-pole, pressure of idling, short circuit current, power.

Метод эквивалентного генератора (метод активного двухполюсника) [1–3] применяют при определении тока, напряжения или мощности в одной из ветвей линейной электрической цепи. Сущность этого метода заключается в том, что по отношению к выделенной ветви с сопротивлением R_H вся остальная часть сложной цепи, содержащая источники ЭДС и источники тока, может быть заменена одним эквивалентным генератором с ЭДС E_T и внутренним сопротивлением R_T (рис. 1). Ток в нагрузке R_H сохраняется, а мощность, вырабатываемая и потребляемая в исходной схеме, при переходе к эквивалентному генератору не сохраняется.

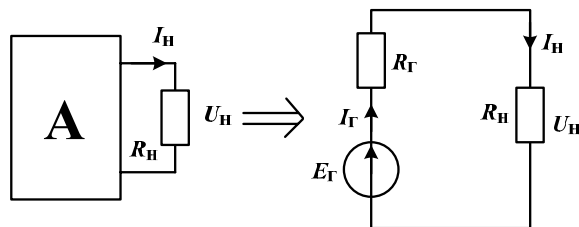


Рис. 1. Схема эквивалентного генератора: А – активный двухполюсник; U_H и I_H – напряжение и ток в нагрузке

Очевидно, что в схеме эквивалентного генератора (рис. 1) в режиме холостого хода ($I_H=0$) вырабатываемая мощность равна нулю независимо от того, какое значение она принимает в исходной схеме в этом же режиме. В остальных режимах ра-

боты вырабатываемая мощность в исходной схеме и в схеме по методу эквивалентного генератора отличаются друг от друга. Чтобы в этом убедиться, достаточно рассмотреть любую схему. В качестве примера рассмотрим схему, рис. 2.

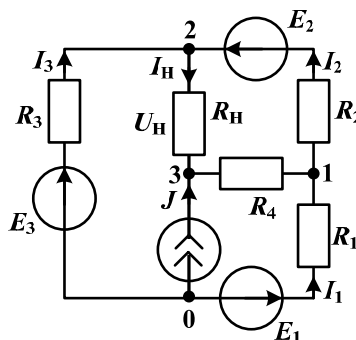


Рис. 2. Схема цепи с параметрами: $E_1=150$ В, $E_2=200$ В, $E_3=150$ В, $J=1$ А, $R_1=70$ Ом, $R_2=20$ Ом, $R_3=40$ Ом, $R_4=10$ Ом

Параметры схемы эквивалентного генератора будут равны: $E_T=148,46$ В, $R_T=26,92$ Ом.

Как известно, ток в исходной схеме (рис. 2) и ток в схеме эквивалентного генератора (рис. 1) совпадают. Определим вырабатываемую мощность $P_1=P(R_H)$ в исходной схеме, изменяя сопротивление нагрузки R_H от 0 до ∞ , когда $P_{K3}=P(0)$ и $P_{\infty}=P(\infty)$, и сравним ее с вырабатываемой мощностью P_2 в схеме эквивалентного генератора. Все

необходимые вычисления выполняем в программе MathCad [5]. В результате, для исходной схемы получаем: $U_{xx}=148,46$ В, $P_{xx}=350$ Вт, $I_{k3}=5,51$ А; $P_{k3}=1397,71$ Вт. В свою очередь для схемы эквивалентного генератора находим $P_{xx}=0$ и $P_{k3}=818,66$ Вт.

Графики рассчитанных мощностей приведены на рис. 4. КПД схем, рис. 1 и 2, так же отличаются (рис. 6).

Наряду с этим существуют методы, основанные на энергетическом подходе, когда сохраняется мощность, но не сохраняется ток [4]. Таким образом, схема, полученная методом эквивалентного генератора, не является эквивалентной в полном смысле, что не позволяет проводить полного анализа электроэнергетических схем, например, схем электрических цепей с несколькими работающими генераторами и питающими общую нагрузку. Поэтому разработка расширенного метода эквивалентного генератора, позволяющая сохранить вырабатываемую мощность всех источников и ток в нагрузке при любом ее значении, является актуальной. Этот метод позволяет оптимизировать параметры схемы для получения максимального КПД и максимальной мощности в нагрузке.

Рассмотрим расширенный метод эквивалентного генератора при постоянных напряжениях и токах.

На рис. 3 представлена схема замены активного двухполюсника расширенным эквивалентным генератором с ЭДС E_Γ , сопротивлением R_Γ , источником тока генератора J_Γ и дополнительным сопротивлением R_0 . Предположим, что в исходной схеме известны для режима:

- холостого хода ($I_H=0$, $R_H=\infty$) напряжение в нагрузке $U_H=U_{xx}$ и вырабатываемая мощность P_{xx} ;
- короткого замыкания ($U_H=0$, $R_H=0$) ток в нагрузке $I_H=I_{k3}$ и вырабатываемая мощность P_{k3} .

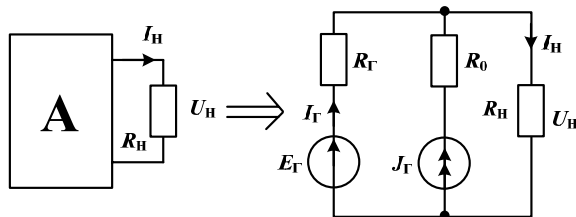


Рис. 3. Схема расширенного эквивалентного генератора

В режиме холостого хода (рис. 3) U_{xx} и P_{xx} равны:

$$U_{xx} = E_\Gamma + R_\Gamma J_\Gamma, \quad (1)$$

$$P_{xx} = J_\Gamma^2 (R_\Gamma + R_0). \quad (2)$$

Из режима короткого замыкания очевидно, что:

$$I_{k3} = \frac{E_\Gamma}{R_\Gamma} + J_\Gamma, \quad (3)$$

$$P_{k3} = \frac{E_\Gamma^2}{R_\Gamma} + J_\Gamma^2 R_0. \quad (4)$$

Определим параметры расширенного эквивалентного генератора E_Γ , J_Γ и R_0 .

Сопротивление генератора R_Γ определяем общепринятым способом [1–3]:

$$R_\Gamma = \frac{U_{xx}}{I_{k3}}, \quad (5)$$

тогда уравнения (1) и (3) объединяются. Таким образом, вместо системы из четырех уравнений необходимо решить систему из трех уравнений (1), (2) и (4).

Из уравнения (1) выразим E_Γ , а из уравнения (2) выразим дополнительное сопротивление R_0 :

$$E_\Gamma = U_{xx} - R_\Gamma J_\Gamma, \quad (6)$$

$$R_0 = \frac{P_{xx}}{J_\Gamma^2} - R_\Gamma. \quad (7)$$

Подставим полученные выражения (6) и (7) в уравнение (4):

$$P_{k3} = \frac{(U_{xx} - R_\Gamma J_\Gamma)^2}{R_\Gamma} + J_\Gamma^2 \left(\frac{P_{xx}}{J_\Gamma^2} - R_\Gamma \right). \quad (8)$$

Из уравнения (8) выразим ток генератора J_Γ :

$$J_\Gamma = \frac{(P_{xx} - P_{k3})R_\Gamma}{2R_\Gamma U_{xx}} + \frac{U_{xx}^2}{2R_\Gamma U_{xx}} = \frac{P_{xx} - P_{k3}}{2U_{xx}} + \frac{1}{2} I_{k3}, \quad (9)$$

Подставим полученное выражение в (6) и определим E_Γ :

$$E_\Gamma = \frac{1}{2} U_{xx} - \frac{P_{xx} - P_{k3}}{2I_{k3}}. \quad (10)$$

После определения параметров генератора переходим к определению тока в нагрузке I_H и мощности P_H . Записав уравнение по второму закону Кирхгофа для контура с участием тока нагрузки и используя выражение (1) или (6) с учетом (5), легко доказать, что ток в нагрузке определяется по формуле (11):

$$I_H = \frac{U_{xx}}{R_\Gamma + R_H}. \quad (11)$$

Мощность в схеме расширенного эквивалентного генератора будет равна:

$$P = I_\Gamma^2 R_\Gamma + J_\Gamma^2 R_0 + I_H^2 R_H, \quad (12)$$

где $I_\Gamma = I_H - J_\Gamma$ (рис. 3).

Для иллюстрации работы метода рассмотрим ту же схему (рис. 2). Преобразуем ее к схеме расширенного эквивалентного генератора (рис. 3).

По формулам (5), (7), (9) и (10) определяем параметры расширенного эквивалентного генератора: $R_\Gamma=26,92$ Ом; $R_0=561,211$ Ом, $J_\Gamma=-0,771$ А и $E_\Gamma=169,231$ В. Используя найденные параметры генератора, определяем ток в нагрузке и потребляемую мощность по формулам (11) и (12). Ток в нагрузке и вырабатываемая мощность, определенные в исходной схеме и методом расширенного эквивалентного генератора, совпали (рис. 4, 5).

В данной работе расширенный метод эквивалентного генератора рассмотрен для линейной электрической цепи при постоянных токах. В дальнейшем планируется рассмотреть возможность применения этого метода для нелинейных

цепей и цепей при гармонических напряжениях и токах.

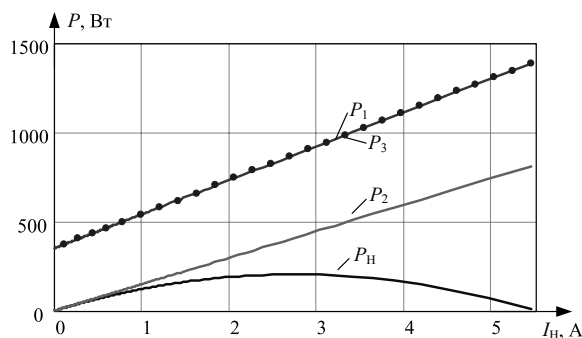


Рис. 4. Графики зависимостей мощностей от I_n : P_1 — вырабатываемой в исходной схеме, P_2 — вырабатываемой в схеме эквивалентного генератора, P_3 — вырабатываемой в схеме расширенного эквивалентного генератора, P_n — мощность, потребляемая в нагрузке

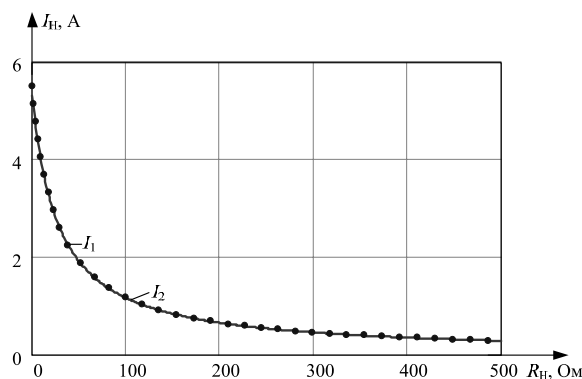


Рис. 5. Графики тока в нагрузке от R_n : I_1 — в исходной схеме, I_2 — в схеме расширенного эквивалентного генератора

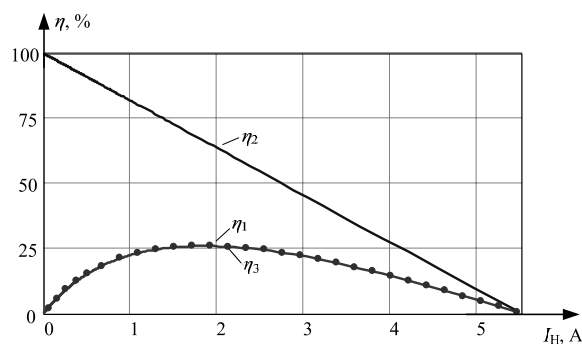


Рис. 6. Графики зависимостей КПД от I_n : η_1 — в исходной схеме, η_2 — в схеме эквивалентного генератора, η_3 — в схеме расширенного эквивалентного генератора

Выводы

1. Предложен расширенный метод эквивалентного генератора, в котором схема замещения активного двухполюсника эквивалентна не только по току и напряжению в отдельно взятой ветви, но и по вырабатываемой мощности всех источников.
2. Расширенный метод эквивалентного генератора позволяет оптимизировать параметры исходной сложной цепи для получения максимального КПД в нагрузке.
3. Приведенные расчетные формулы для определения параметров расширенного эквивалентного генератора дают возможность заменить любую сложную энергосистему достаточно простой схемой замещения и анализировать её при различных нагрузках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — 11-е изд., испр. и доп. — М.: Гардарики, 2007. — 701 с.: ил.
2. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. — 5-е изд. — СПб.: Питер, 2009. — Т. 1. — 2009. — 512 с.: ил.
3. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке [и др.]. — 5-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.
4. Васильева О.В., Исаев Ю.Н. Применение энергетического подхода для исследования синтеза электрических цепей // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность: Матер. II Всеросс. молодежной научно-техн. конф. — Омск, 21–22 апреля 2009. — Омск: ОмГТУ, 2009. — С. 20–23.
5. Гурский Д.А., Турбина Е.С. Mathcad для студентов и школьников. — СПб.: Питер, 2005. — 400 с.

Поступила 27.09.2010 г.