



Повышающий трансформатор (Обзор) Step-up transformer (Review)

Суханов Владимир Николаевич ^{1,2,◇}

Vladimir Nikolaevich Sukhanov ^{1,2,◇}

¹Калининградский государственный технический университет. Советский проспект, 1, 236022 Калининград, Россия.

²c/o 366 Westgate Road, Ньюкасл-апон-Тайн, NE4 6NX. Великобритания.

¹Kaliningrad State Technical University. 1 Sovietsky Prospect, 236022 Kaliningrad, Russia.

²c/o 366 Westgate Road, Newcastle upon Tyne, NE4 6NX, United Kingdom.

To cite this article:

Vladimir Nikolaevich Sukhanov. “Step-up transformer (Review)”, *Parana Journal of Science and Education*. v.11, n.2, **2025**, pp. 13-17.

Received: February 4, 2025; **Accepted:** March 25, 2025; **Published:** April 1, 2025.

Abstract

The operation of new electrical step-up transformer is based on the principle of induction of electromotive force in an electrical conductor surrounded by a magnetic circuit. The new design of the transformer with a semiconductor secondary winding is presented. Such a trans-former, for all its traditional simplicity, has an arbitrarily large transformation ratio.

Keywords: Economic Effect; Power Industry; Semiconductor; Transformer; Technology.

Абстрактный

Работа нового электрического повышающего трансформатора основана на принципе индукции электродвижущей силы в электрическом проводнике, окруженном магнитной цепью. Представлена новая конструкция трансформатора с полупроводниковой вторичной обмоткой. Такой трансформатор, при всей своей традиционной простоте, имеет сколь угодно большой коэффициент трансформации.

Ключевые слова: Экономический эффект; Энергетика; Полупроводник; Трансформатор; Технология.

◇Email: inventcreat@yahoo.com; svn@physics.org



1. Введение

Трансформатор, устройство, передающее электрическую энергию из одной цепи переменного тока в одну или несколько других цепей, либо увеличивая (повышая), либо уменьшая (понижая) напряжение. [1]

На примерах использования принципа индукции ЭДС в электрическом проводнике, окруженном магнитной оболочкой, шаг за шагом показана эволюция повышающего трансформатора и полупроводниковых эффектов в одном устройстве. Описано развитие производства трансформаторов и полупроводников от первых работ Майкла Фарадея [2] [3] и Томаса Иоганна Зеебека [4] до современных конструкций повышающих трансформаторов и далее, до ближайшего будущего производства трансформаторов.

1.1. История

В 1821 году впервые была замечена работа полупроводников. [4]

В 1827 году были опубликованы результаты исследований и описания электрического сопротивления. [5]

В 1831 году было открыто явление электромагнитной индукции, которое стало основой электротехники. [6]

Электромагнитная индукция — возникновение электродвижущей силы в проводнике при изменении внешнего магнитного поля. На этой основе впервые был описан принцип действия трансформатора (1831 год). [7] [8]

Дальнейшее уточнение последовало в 1833 году. Это был однофазный трансформатор. [3]

В 1876 году были изготовлены медные провода с полупроводниковым покрытием. [9]

В 1885 году были описаны трансформаторы, которые начали использоваться для преобразования параметров переменного тока. [10]

В 1891 году была запатентована схема катушки Тесла. Данная катушка (трансформатор Тесла) позволила создать трансформатор со значительным коэффициентом трансформации. [11]

Несмотря на устоявшиеся традиции в проектировании и производстве трансформаторов, в 2003 году был предложен трансформатор с иным принципом действия, основанным на использовании не реактивной составляющей сопротивления обмоток трансформатора, а активной. [12]

В 2021 году предложенный принцип действия нового трансформатора был подтвержден экспериментально, а именно установлено, что токопроводящий провод, имеющий электрическое сопротивление в переменном электромагнитном поле по всей длине этого провода, находится под напряжением, наведенным этим переменным электромагнитным полем. Это электрическое напряжение равно геометрической сумме напряжения от реактивной и активной составляющих сопротивления данного электропроводящего провода. [13]

2. Методы

Принцип электромагнитной индукции в трансформаторе обеспечивает индуцирование электрического напряжения в катушке электрического проводника путем изменения магнитного поля, окружающего эту катушку. Использование явления электромагнитной индукции для изменения соотношения токов и напряжений в первичной и вторичной цепях при построении трансформаторов. [3] [6]

Такие изменения соотношения токов и напряжений в трансформаторах определяются соотношением этих физических величин в первичной и вторичной обмотках (коэффициентом трансформации). В свою очередь, значения этого коэффициента определяется соотношением электрических сопротивлений первичной и вторичной обмоток этого трансформатора. [3] [14]

Общее электрическое сопротивление (реактивное и активное – полное электрическое сопротивление [15]) с учётом реактивного сопротивления во вторичной обмотке трансформатора увеличивает коэффициент трансформации при сдвиге фаз индуцированных токов и напряжений.



2.1. Расчетные формулы для нового трансформатора

Предлагаемый трансформатор аналогичен конструкции известного трансформатора с замкнутым стальным сердечником магнитопровода, на котором расположены первичная и вторичная медные обмотки. [16]

Такой трансформатор имеет коэффициент трансформации k :

$$k = \frac{U_1}{U_2} \quad (1)$$

Здесь U_1 — эффективное значение напряжения на первичной обмотке, U_2 — аналогично, на вторичной обмотке.

Напряжение U_2 является результатом эффективного значения электродвижущей силы E [12], индуцированной во вторичной обмотке:

$$U_2 = E = \sqrt{E_L^2 + E_R^2} = K f w \Phi \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}} \quad (2)$$

Здесь E_L — индуктивная составляющая от E ,

E_R — омическая составляющая от E ,

$K = 4,44$ — коэффициент,

w — число витков вторичной обмотки,

Φ — величина магнитного потока,

$Q = \frac{fL}{R}$ — добротность обмотки, [17]

L — индуктивность обмотки,

f — рабочая частота трансформатора,

R — омическое сопротивление обмотки.

В трансформаторах с медными обмотками активное сопротивление обмоток R пренебрежимо мало, а реактивное сопротивление обмоток равно реактивным сопротивлениям этих обмоток U_1 и U_2 :

$$U_1 = E_1 = K f w_1 \Phi \quad (4)$$

Если в трансформаторах со вторичной обмоткой, выполненной из полупроводника, активное сопротивление обмоток R_2 составляет

значительную величину, то есть Q имеет пренебрежимо малое значение:

$$U_2 = E_2 = K f w_2 \Phi \frac{R_2}{f L_2} \quad (5)$$

Следовательно, k для трансформатора с медной первичной и полупроводниковой вторичной обмоткой выражается формулой:

$$k = \frac{K f w_1 \Phi f L_2}{K f w_2 \Phi R_2} \quad (6)$$

При R — значительной величины, k — намного меньше 1. Такой трансформатор является повышающим и его k зависит, в значительной мере, от активного сопротивления R_2 вторичной обмотки трансформатора.

3. Использование этого трансформатора

Для того чтобы представить возможности нового трансформатора, следует обратить внимание на электропроводности меди (традиционного материала для первичной обмотки трансформатора) и полупроводникового материала для вторичной обмотки. Для меди электропроводность равна $0,0175 \left(\text{Ом} \times \frac{\text{мм}^2}{\text{м}} \right)$, а для полупроводников эта величина меньше в количество раз от 10^2 до 10^{16} . Отсюда видно, что трансформатор с полупроводниковой вторичной обмоткой может иметь k в 10^n раз больше чем у аналогичного трансформатора традиционной конструкции (с медной вторичной обмоткой). В нашем случае n может быть больше 10. Таким образом, k предложенного трансформатора может иметь фантастическую величину, например, $k = 10^{12}$ (для вторичной обмотки из кварца). Такое удивительное свойство предложенного трансформатора обеспечит ему применение при создании высоких электрических напряжений для изучения материалов и веществ, а также для ионизации газов (воздуха), а также для работы ускорителей заряженных частиц.

Для надёжности конструкции предложенного трансформатора, и для стабильности работы этого трансформатора, независимо от перепадов



температуры, вторичная обмотка может быть изготовлена из вольфрама. [13]

Предложенный трансформатор может заменить электростатические генераторы для получения больших разностей электрического потенциала.

КПД этого трансформатора не будет опускаться ниже 50%, если электросопротивление вторичной обмотки равно электросопротивлению нагрузки. При этом коэффициент трансформации будет максимальным.

4. Вывод

На протяжении последнего столетия основными усилиями в развитии трансформаторостроения были:

1. повышение КПД трансформатора,
2. снижение стоимости трансформаторов при сохранении их эффективности и надёжности.

Предложенное решение позволит расширить этот список и обратить внимание на повышение коэффициента трансформации. Это достигается не повышением добротности вторичной обмотки трансформатора, а наоборот, понижением этой добротности. [18] [19] [20].

Рекомендации

[1] Transformer. *Encyclopaedia Britannica*. (2023) URL: <https://www.britannica.com/technology/transformer-electronics>.

[2] Michael Faraday (1791 – 1867), English physicist, founder of the doctrine of the electromagnetic field. *Encyclopaedia Britannica*. URL: <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>.

[3] Faraday, M. (1833). On a new law of electric conduction. On conducting power generally. *Philos. Trans. Royal Soc.*, 123, pp. 507–522. URL: <https://www.jstor.org/stable/108004> . <https://doi.org/10.5479/sil.389421.mq591022>.

[4] Seebeck, T. J. (1895). Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. *Abh. Akad. Wiss.* Berlin

1820–21, 1822. And Verlag von Wilhelm Engelmann. Leipzig. (German) URL: <https://ia904702.us.archive.org/31/items/magnetisch-hepolar00seebuoft/magnetischepolar00seebuoft.pdf> and URL: <https://archive.org/details/magnetischepolar00seebuoft>

[5] Ohm, G. S. (1827). Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet. Berlin: T. H. Riemann. (German) URL: https://web.archive.org/web/20090326094110/http://www.ohm-hochschule.de/bib/textarchiv/Ohm.Die_galvanische_Kette.pdf . <https://doi.org/10.5479/sil.354716.39088005838644>

[6] Michael Faraday (1831). Tribune to Michael Faraday. Chapter XIII. Electricity from magnetism. P. 169. London. Identifier: b29976753. Lccn: 31016778. URL: <https://archive.org/details/b29976753/page/176/mode/2up>.

[7] Faraday, Michael & Day, P. (1999). The philosopher's tree: a selection of Michael Faraday's writings. *Institute of Physics Pub.*, Bristol, UK, P. 71. URL: <https://www.worldcat.org/title/40559736>.

[8] Faraday, Michael (1855). Experimental Researches in Electricity, vols. i. and ii. Richard and John Edward Taylor.; vol. iii. Richard Taylor and William Francis, URL: <https://archive.org/details/experimentalrese00faraial/>.

[9] J. Orton (2009). Semiconductors and the Information Revolution: Magic Crystals that Made IT Happen. Amsterdam: Academic Press/Elsevier. pp. 35–36. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Semiconductors-and-the-Information-Revolution-%3A-IT-Orton/0946c67f8e074acf52f4246c72bfd79859f4cce3>.

[10] Frederick Bedell (1942). History of A–C Wave Form, Its Determination and Standardization. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. P. 864. URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&ar_number=5058456 . <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1942.5058456>.



- [11] Nikola Tesla (1891). SYSTEM OF ELECTRIC LIGHTING. U.S. Patent: No. 454,622. URL: <https://patents.google.com/patent/US454622>
- [12] Владимир Николаевич Суханов (2003). Повышающий трансформатор. «Изобретательское творчество». ISBN 5–94990–002–2. Фолиантъ, pp. 116–117. (2003) URL: <https://search.worldcat.org/title/55576505> , URL: <https://search.worldcat.org/title/750042142> and URL: https://www.researchgate.net/publication/365644734_Izobretatelskoe_Tvorcestvo p. 126, URL: https://www.researchgate.net/publication/364354604_24_Transformer
- [13] Marian Mogildea, George Mogildea, Valentin Craciun, & Sorin I. Zgura (2021). The Effects Induced by Microwave Field upon Tungsten Wires of Different Diameters. *Materials*. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7926306/> . <https://doi.org/10.3390/ma14041036> .
- [14] Электрический трансформатор. Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия. (2023) URL: <https://megabook.ru/article/Электрический%20трансформатор> .
- [15] Kennelly, Arthur (1893). Impedance. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 10, pp. 175–232. <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1893.4768008> , URL: <https://archive.org/details/transactionsame31engigo/page/175/mode/1up>
- [16] K. Zipernovsky, M. Deri' & O.T. Blathy (1886). INDUCTION-COIL. Inductional transformer. United States Patent: US352105A. URL: [https://patents.google.com/patent/US352105A/en?q=\(Transformer\)&before=priority:18861231&after=priority:18860101&oq=Transformer+1886](https://patents.google.com/patent/US352105A/en?q=(Transformer)&before=priority:18861231&after=priority:18860101&oq=Transformer+1886) .
- [17] Smith, K. L. (1986). On the Origins of the Quality Factor Q. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 27, NO.4/DEC, P. 695, URL: <https://adsabs.harvard.edu/full/1986QJRAS..27..695S> .
- [18] Vladimir Nikolayevich Sukhanov (2024). Step-up Transformer. *ResearchGate*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12454.29766> URL: https://www.researchgate.net/publication/378392239_Step-up_Transformer
- [19] Vladimir Nikolayevich Sukhanov (2024). Step-up transformer. *International Journal of Engineering & Technology*. <http://dx.doi.org/10.14419/jwy62b28> , URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/32540/17821> , URL: https://www.researchgate.net/publication/380170810_Step-up_transformer
- [20] Владимир Николаевич Суханов (2024). Повышающий Трансформатор. *ResearchGate*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.15809.74084>