

ОРТОГОНАЛЬНО–ПОТОКОВО—ОБМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Парамонов М.И. Email: Paramonov17115@scientifictext.ru

*Парамонов Михаил Игоревич— астрофизик, президент,
европейский научно—исследовательский фонд «21-Век»,
г. София, Республика Болгария*

Аннотация: автор предлагает новый вид параметрического трансформатора: ортогонально—потокково—обмоточный. Данный параметрический трансформатор имеет два независимых замкнутых магнитопровода с обмотками, расположенными перпендикулярно друг к другу, что исключает их взаимную индукцию. Управление вторичной обмоткой происходит исключительно изменением магнитной проницаемости части магнитопровода энергией первичной катушки. Причем, в трансформаторе отсутствуют встречные магнитные потоки, что исключает их взаимное влияние. Рассмотрен вариант его использования в качестве параметрического трансгенератора.

Ключевые слова: паратранс, ортогональный поток, ортогональные обмотки, параметрический резонанс

ORTHOGONAL-FLOW-WINDING TRANSFORMER AND ITS APPLICATION Paramonov M.I.

*Paramonov Mikhail Igorevich – astrophysicist, President,
European research Foundation "21 Century", Sofia, Republic of Bulgaria*

Abstract: the author proposes a new kind of parametric transformer: orthogonal — streaming — winding. The parametric transformer has two independent closed magnetic core with windings, arranged perpendicular to each other; which eliminates their mutual induction. The control secondary winding is solely a change in the magnetic permeability of a part of the magnetic energy of the primary coil. Moreover, in the transformer no counter magnetic fluxes, which eliminates their mutual influence. The variant of its use as a parametric transgeneration.

Keywords: parametric transformer, orthogonal to the flow orthogonal to the winding, parametric resonance

УДК 3937.537

DOI: 10.20861/2304-2338-2017-115-002

Явление возбуждения колебаний посредством периодического изменения одного или нескольких параметров колебательной системы известно с XIX века. Так в 1860 году Мельде продемонстрировал возбуждение поперечных колебаний струны посредством периодического изменения ее натяжения. Причем частота изменения натяжения была в два раза выше частоты возникновения колебаний.

Позже лорд Рейлей в 1883 году предположил, что периодическое изменение самоиндукции колебательного контура с частотой, равной половине собственной частоты контура, повлечет возникновение колебаний. Но, насколько мне известно, достаточно продолжительное время никто не мог продемонстрировать генератор, работающий на этом принципе. Удалось это в начале XX века группе советских ученых под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Причем вначале было получено параметрическое возбуждение электрическим способом (Николаем Папалекси в 1928 году), а затем и механическим (в ЛЭФИ в начале 1931 года) [1].

В 1938 году Н.Д. Папалекси опубликовал статью: «Параметрическое генерирование переменных токов» [2], где достаточно подробно рассмотрел некоторые варианты гетеропараметрических генераторов. Это были исключительно параметрические машины, возбуждаемые механическим путем, т.к. существовавшие к тому времени электрические параметрические генераторы обладали невысоким КПД и низкой энергоэффективностью, и не могли быть использованы для построения генераторов токов. Механизм электрического возбуждения параметрических колебаний лег в основу построения элементов логических схем — параметронов и в разработку специальных трансформаторов — паратрансов. В литературе [3] были рассмотрены характеристики и принципы построения параметрических трансформаторов, которые были разделены на пять типов в зависимости от построения: балансный, мостовой, балансный раздельный, ортогонально—обмоточный, и ортогонально—потокковый. Существенным недостатком предложенных параметрических трансформаторов было взаимодействие входной и выходной обмоток и, как следствие, их взаимная индукция. В своей статье я хочу предложить новый, шестой тип параметрического трансформатора: ортогонально—потокково—обмоточный.

На рис. 1 представлена схема одного из вариантов управляемого параметрического трансформатора с ортогональным расположением обмоток и их магнитных потоков. Трансформатор состоит из двух

ортогонально расположенных магнитопроводов:

магнитопровода (1) входной катушки **Lu** и магнитопровода (2) выходной катушки **Lg**. Причем, эти магнитопроводы пересекаются на участке (3) под углом 90° . Магнитный поток, созданный катушкой **Lu**, проходя по магнитопроводу (1), насыщает участок (3) и не реагирует на магнитный поток катушки **Lg**. И наоборот, магнитный поток, созданный катушкой **Lg**, проходит по магнитопроводу (2) и реагирует с магнитопроводом (1) только на участке насыщения (3). Причем, магнитные потоки от катушек, благодаря их перпендикулярному протеканию, не видят друг друга, а специально подобранная геометрия и проницаемость магнитопроводов позволяет минимизировать расход энергии на изменение проницаемости участка магнитопровода катушкой **Lu** и позволяет максимально увеличить магнитный поток в магнитопроводе (2) катушки **Lg**.

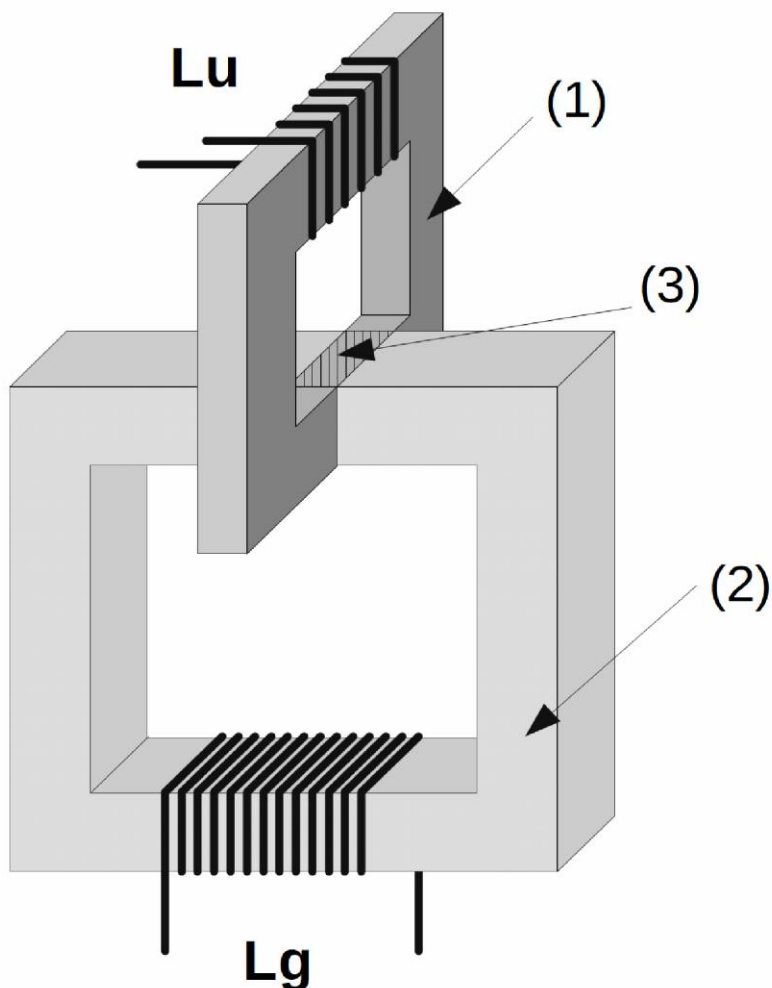


Рис. 1: Электромагнитная схема ортогонально-потокково-обмоточного трансформатора

Простой анализ запасенной энергии в индуктивности хорошо показывает, какие параметры влияют на уровень этих энергозатрат:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{B^2 SI}{2\mu_0 \mu} \quad (1)$$

Уменьшение площади сечения магнитопровода, его длины и увеличение проницаемости позволяют уменьшить вложение энергии на входной катушке при неизменной величине вектора магнитной индукции, необходимой для насыщения магнитопровода, и напротив, увеличение площади сечения и

длины магнитопровода, а также уменьшение его проницаемости позволяет в выходной катушке индуктивности курсировать большому потоку энергии и не вызывать перенасыщение магнитопровода. Этот принцип и заложен при построении, например, параметрического ортогонально—потоково—обмоточного трансгенератора. Поскольку электрическая энергия из первичной обмотки L_u не поступает в привычном для классического трансформатора смысле, а генерируется на вторичной обмотке L_g за счет энергии, затрачиваемой в цепи L_u на изменения проницаемости участка магнитопровода, то такой трансформатор вполне корректно называть трансгенератором.

Рассмотрим работу такого трансформатора. Запасенная энергия в индуктивности L_g , входящей в состав колебательного контура, рис.2, пока через катушку L_u не протекает ток, равна:

$$W_1 = \frac{\Phi^2}{2L_g}. \quad (2)$$

После того, как через катушку L_u потечет ток, достаточный для насыщения магнитопровода, и вся электрическая энергия перейдет в магнитную, величина индуктивности катушки L_g уменьшится на ΔL и станет равна:

$$W_2 = \frac{\Phi^2}{2 \times (L_g - \Delta L_g)}. \quad (3)$$

Величина вложения энергии:
$$\Delta W_L = W_2 - W_1 = \frac{\Phi^2}{2L_g} \times \frac{\Delta L_g}{L_g - \Delta L_g} = \frac{L_g I^2}{2} \times \frac{\Delta L_g}{L_g - \Delta L_g} \quad (4)$$

если $\Delta L \ll L$, то
$$\Delta W_L = \frac{I^2}{2} \times \Delta L_g = \frac{1}{2} \times I^2 \Delta L_g. \quad (5)$$

Особенность всех параметрических трансформаторов состоит в том, что частота выходного напряжения равна частоте источника управления проницаемостью. А значит, за один период энергия будет вкладываться два раза:

$$\Delta W_T = 2 \Delta W_L = I^2 \Delta L_g. \quad (6)$$

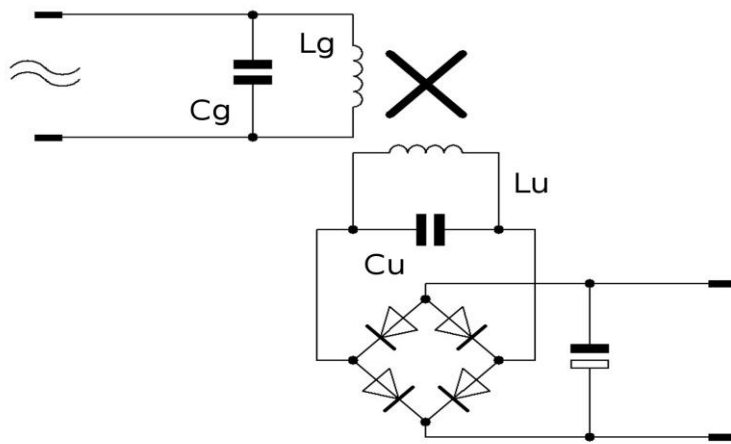


Рис. 2. Электрическая схема трансгенератора

Параметрический резонанс будет возможен, если получаемая энергия будет превышать энергию, затрачиваемую на потери в контуре. Расчеты показывают, что это возможно, когда

$$\Delta L_g > \pi R \times \sqrt{\frac{L_g}{C_g}} \quad (7)$$

На работу по созданию параметрической нелинейности (насыщение участка магнитопровода) мы будем затрачивать энергию, исходя из подобранных параметров катушки L_g . Многочисленные исследования показали, что при одинаковых объемах магнитопроводов, равных значениях

проницаемости и глубины модуляции ортогональное управление требует от источника управления в 4 раза больше мощности, чем классическое параллельное. Однако, активные потери при параллельном управлении гораздо больше, чем при ортогональном, в среднем в 5...10 раз. Все измерения проводились при использовании изотропных магнитопроводов. Теоретическое обоснование таких результатов достаточно хорошо изложено в [3], а в [4] вы найдете практическую реализацию параметрического трансформатора типа «Битор».

Максимальная накапливаемая мощность в контуре **Lg-Cg** ограничена величиной вектора магнитной индукции, при котором происходит насыщение магнитопровода. От нее зависит максимальный ток в контуре:

$$I_{\max} = \frac{Bl}{\mu_o \mu \cdot n}, \quad (8)$$

где **n** – количество витков катушки **Lg**. Из формулы видно, что максимальный ток зависит также от длины магнитопровода и количества витков в катушке. Но изменение количества витков ведет к изменению уровня э.д.с., а вот длина магнитопровода влияет исключительно на геометрические размеры трансформатора. Автором были разработаны две методики расчета подобных трансформаторов, одна основана на энергетических расчетах, предложенных Н.Д. Папалекси [2], другая — на расчете замкнутых магнитных цепей с использованием формулы Гопкинсона. Важным параметром системы является величина модуляции параметра:

$$m = \frac{L_{g \max} - L_{g \min}}{L_{g \max} + L_{g \min}} = \frac{\Delta L_g}{L_o} \quad (9)$$

и логарифмический декремент колебательного контура **Lg-Cg**:

$$\varepsilon = -\ln \left(1 - \frac{2\pi}{Q} \right) \quad (10),$$

где **Q** – добротность контура на частоте резонанса. Зная эти параметры, легко определить возможность получения параметрического резонанса

$$m > \frac{2}{\pi} \times \varepsilon \quad (11)$$

Если это соотношение выполняется, то резонанс возможен, а мощность, полученная таким генератором составит:

$$P = (b_{\max} - b_{\min}) \times (\Phi R_{L_{\max}})^2 \quad (12),$$

где **bmax** и **bmin** – максимальная и минимальная магнитная проводимость магнитопровода катушки **Lg**, **Rmax** – максимальное магнитное сопротивление магнитопровода катушки **Lg**, **Φ** — магнитный поток в магнитопроводе и **ω** – частота резонанса.

В ряде случаев мощность можно рассчитать по формуле:

$$P = \omega \times (m - \varepsilon) \times L_o I_{eff}^2. \quad (13)$$

При малых значениях модуляции:

$$\cos(\Theta) = RC \omega \approx \frac{\varepsilon}{\pi} \quad (14)$$

и максимально стремится к

$$\cos(\Theta) \approx \frac{m}{2} \quad (15)$$

Из чего следует вывод, что система дает хорошие энергетические показатели только при большом уровне модуляции, что вполне достижимо при использовании современных материалов. Величина магнитного потока в магнитопроводе, как уже было сказано выше, зависит от максимально возможной величины вектора магнитной индукции, при котором сердечник не переходит в состояние насыщения. Поэтому единственным вариантом увеличить **Φ** — применить магнитопровод с максимально возможной площадью сечения.

Коэффициент полезного действия при известном эффективном сопротивлении колебательной системы **Ro** и активном сопротивлении нагрузки **R** рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{R}{R + R_o}, \text{ где } R + R_o = \frac{m}{2\rho} \times \omega L_o \quad (16)$$

Что касается эффективности параметрического ортогонально—потоково—обмоточного трансгенератора, то его коэффициент можно рассчитать по формуле:

$$\varphi = \frac{P_g}{P_u}. \quad (17)$$

Особое внимание надо уделять построению управляющей катушки **Lu** и ее магнитопроводу. Лучшие энергетические показатели получаются при использовании магнитопровода, насыщение которого происходит при большей величине вектора магнитной индукции, нежели у магнитопровода катушки **Lg**. К тому же в данной конструкции целесообразнее для катушки **Lg** применять целый магнитопровод с однородной проницаемостью, а магнитопровод катушки **Lu** делать составным — это позволяет повысить уровень модуляции параметра в выходном контуре трансформатора.

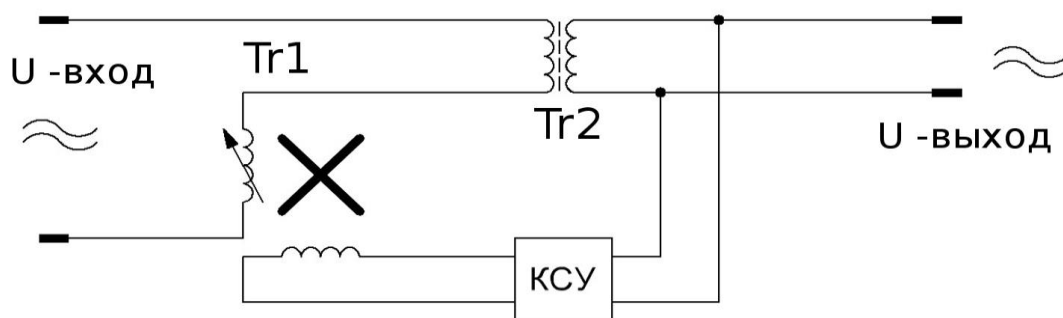


Рис. 3. Электрическая схема устройства трансформации и стабилизации напряжения

Подбирая параметры катушек, можно добиваться разного коэффициента трансформации, т.е. изготавливать как повышающие, так и понижающие трансформаторы. Характерной особенностью параметрических трансформаторов является полная безопасность при возникновении короткого замыкания. При замыкании выходной обмотки или превышении ее нагрузочной способности генерация прерывается без изменения магнитного потока на управляющей обмотке, а значит, отсутствует опасный нагрев и перегрузка входной цепи.

Это не единственный вариант использования ортогонально—потоково—обмоточного параметрического трансформатора. Его, например, можно с успехом применять в схемах трансформации и стабилизации напряжения, рис. 3 и в других конструкциях, где важно полностью изолироваться от входящего потока или использовать особенности параметрического резонанса.

Список литературы / References

1. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. О возбуждении колебаний в электрической колебательной системе при помощи периодического изменения емкости. Журн. техн. физики. 3. 1141-1144, 1933.
2. Папалекси Н.Д. Параметрическое генерирование переменных токов, Журнал «Электричество». № 11, 1938.
3. Задерей Г.П., Заика П.Р. Многофункциональные трансформаторы в средствах вторичного электропитания. М.: «Радио и связь», 1989
4. Kusko A., Cain F. Ionized Magnetic Workshop // IEEE Trans on Magnetic. Vol. MAG-12. № 4. July, 1976.
5. Парамонов М.И. О процессах в нелинейных реактивностях, провоцирующих возникновение и накопление энергии при параметрическом резонансе. European Science. № 1, 2014. изд. «Проблемы науки». Москва. ISSN2410-2865.
6. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. О явлениях резонанса n-го рода. Журн. техн. физики. 2. 775—811, 1932.
7. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. О параметрическом возбуждении электрических колебаний. Журн. техн. физики. 3. 5—29, 1934.