

ESPECIALLY IN THE CALCULATIONS OF PARAMETRIC ORTHOGONAL – STREAM TRANSFORMER WITH INDEPENDENT MAGNETIC CIRCUITS

Paramonov M.I. (Republic of Bulgaria)

Email: Paramonov553@scientifictext.ru

*Paramonov Michail Igorevich – Astrophysicist,
EUROPEAN RESEARCH FOUNDATION «21 CENTURY», SOFIA, REPUBLIC OF BULGARIA*

Abstract: parametric transformers are used in secondary sources of food, in the construction of filters and parametric generators. The author's proposed orthogonal – stream transformer with independent magnetic circuits has a number of advantages compared to orthogonal – streaming transformers other structures. The paper discusses some peculiarities in the calculation of the transformer, in particular, changes in the permeability of the plane of the magnetic circuit orthogonal to the magnetic flux input coil.

Keywords: the parametric transformer, orthogonal to the magnetic flux, parametric generator.

ОСОБЕННОСТИ В РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОРТОГОНАЛЬНО– ПОТОКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕЗАВИСИМЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

Парамонов М.И. (Республика Болгария)

*Парамонов Михаил Игоревич – астрофизик,
Европейский научно–исследовательский фонд «21 Век», г. София, Республика Болгария*

Аннотация: параметрические трансформаторы применяются в источниках вторичного питания, при построении фильтров и параметрических генераторов. Предложенный автором ортогонально–поточковый трансформатор с независимыми магнитопроводами обладает рядом преимуществ по сравнению с ортогонально–поточковыми трансформаторами других конструкций. В работе рассмотрены некоторые особенности в расчетах трансформатора, в частности, изменение проницаемости плоскости магнитопровода, расположенной ортогонально магнитному потоку входной обмотки.

Ключевые слова: параметрический трансформатор, ортогональный магнитный поток, параметрический генератор.

УДК 3937.537

Метод изменения проницаемости сердечника катушки путем намагничивания магнитопровода ортогональным магнитным потоком известен достаточно давно и применяется, например, при изготовлении параметрических трансформаторов с ортогональным магнитным потоком подмагничивания. Предложенный автором ортогональный – потоково – обмоточный трансформатор [1] (далее, для большей точности, я буду именовать его как параметрический ортогонально – потоковый трансформатор с независимыми магнитопроводами, сокращенно – «Ортранем») позволяет существенно снизить активную мощность на управляющей обмотке и полностью изолировать входную и выходную цепь. Причем, в отличие от трансформатора типа «Битор» [2], «Ортранем», благодаря независимым магнитопроводам входной и выходной катушек, позволяет более гибко подходить к дизайну и в широких пределах влиять на коэффициент модуляции, входную и выходную мощности трансформатора. Рассмотрим более подробно особенности расчета подобного параметрического трансформатора (рис.1). Входная обмотка $L1$ намотана на магнитопроводе 1 , а выходная обмотка $L2$ – на магнитопроводе 2 . Магнитопроводы расположены под углом 90° друг к другу и имеют общий участок магнитопровода 3 . Благодаря такому дизайну магнитный поток, созданный входной обмоткой, не взаимодействует с магнитным потоком выходной обмотки, т.к. в области пересечения они ортогональны. За счет этого отсутствует самоиндукция между обмотками, и входная обмотка не возбуждает э.д.с. в выходной, а только влияет на намагниченность общего участка магнитопровода 3 .

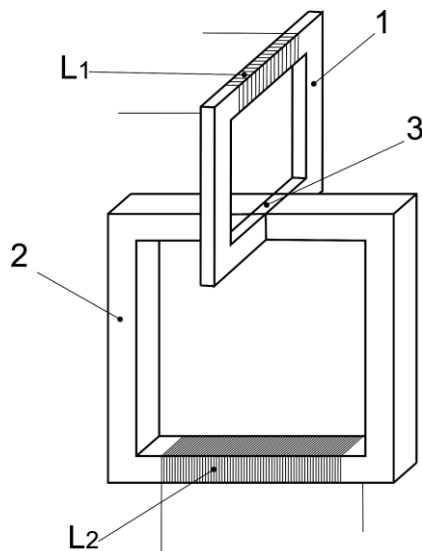


Рис. 1. Электромагнитная схема трансформатора типа «Ортранем»

Входная цепь

Входная цепь параметрического ортогонально – потокового трансформатора с независимыми обмотками состоит из магнитопровода и обмотки. Реактивная мощность, циркулирующая во входной цепи, используется для периодического намагничивания совместного с выходным магнитопроводом участком магнитной цепи. Поскольку вектор магнитной индукции входной цепи ортогонален вектору магнитной индукции выходного магнитопровода, то э.д.с. в выходной обмотке не возбуждается, а изменяется только проницаемость участка магнитной цепи. Реактивная мощность входной обмотки трансформатора в общем виде может быть представлена формулой:

$$P = \omega \frac{\Phi^2 l}{2\mu_0 \mu S} \quad (1)$$

Единственными затратами являются активные джоулевые потери. Потому применение более толстого обмоточного провода позволяет минимизировать их, но требует применения магнитопровода с большей длиной l , что влечет за собой повышение реактивной мощности. К тому же, утверждается, что намагниченность магнитопровода в ортогональной поверхности по отношению к стороне намагничивания происходит не линейно, а с задержкой, что требует больших мощностей для насыщения магнитопровода. Этот вопрос мы рассмотрим более внимательно чуть позже. Не менее важным параметром является величина магнитной проницаемости сердечника катушки. При ее увеличении уменьшаются реактивные мощности, но возрастает э.д.с. (из-за большего реактивного сопротивления), которую необходимо приложить ко входной обмотке. Для магнитопровода входной обмотки применяются магнитомягкие материалы, у которых значение коэрцитивной силы H_c мало.

Выходная цепь

Выходная, как и входная цепь, состоит из магнитопровода и обмотки. Поскольку магнитопровод связан с входной цепью трансформатора только участком с ортогонально пересекающимися потоками, то мы можем в широких пределах влиять на его геометрию и магнитную проницаемость. Расчет цепи удобнее всего производить через магнитное сопротивление. Магнитопровод делится на два участка. Первый – основной, второй – участок, общий для входной и выходной цепей, на котором происходит изменение проницаемости магнитопровода от ортогонального магнитного потока входной обмотки, рис. 2.

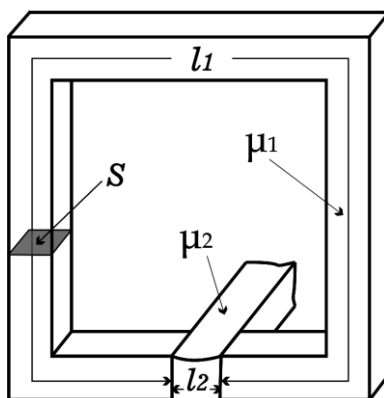


Рис. 2. Чертеж магнитопровода одной из цепей трансформатора

Зная их начальные параметры (длину магнитопровода, площадь сечения и начальную магнитную проницаемость), легко вычислить магнитное сопротивление:

$$R_m = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_1 S} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_2 S} \quad (2)$$

А зная количество витков на выходной обмотке и индуктивность самой обмотки:

$$L = \frac{n^2}{R_m} \quad (3)$$

Тогда, вычислив магнитное сопротивление и индуктивность после намагничивания участка магнитопровода с перпендикулярным магнитным потоком от входной обмотки, легко рассчитать коэффициент модуляции (изменения параметра катушки):

$$m = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} = \frac{R_{m_max} - R_{m_min}}{R_{m_max} + R_{m_min}} \quad (4)$$

Максимальный ток в выходной обмотке «Ортранема» будет ограничен насыщением магнитопровода:

$$I_{\max} = \frac{B_{\max} l}{\mu_0 \mu} = H_n l \quad (5)$$

Надо отметить, что подобная методика применима и к расчету характеристик входной обмотки трансформатора.

Расчет изменения проницаемости при намагничивании скрещенными (ортогональными) полями

Взаимодействие двух взаимно – ортогональных полей входной и выходной обмоток заслуживает отдельного рассмотрения. Дело в том, что изменение проницаемости изотропного ферромагнитного материала происходит разными темпами в параллельном и ортогональном направлениях. Выведем формулы изменения магнитной проницаемости ортогональной поверхности. Построим диаграмму намагниченности магнитопровода при наложении двух ортогональных полей (рис. 3). Для простоты рассмотрим случай, когда намагничивание производится постоянным током. Пусть в плоскости y поле смещения H_y намагничивает магнитопровод до его насыщения. Обозначим на диаграмме точку насыщения M_s и проведем через нее окружность радиусом r . Если в плоскости x имеется незначительная напряженность магнитного поля h_x , то она практически не оказывает влияния на намагниченность магнитопровода M_s .

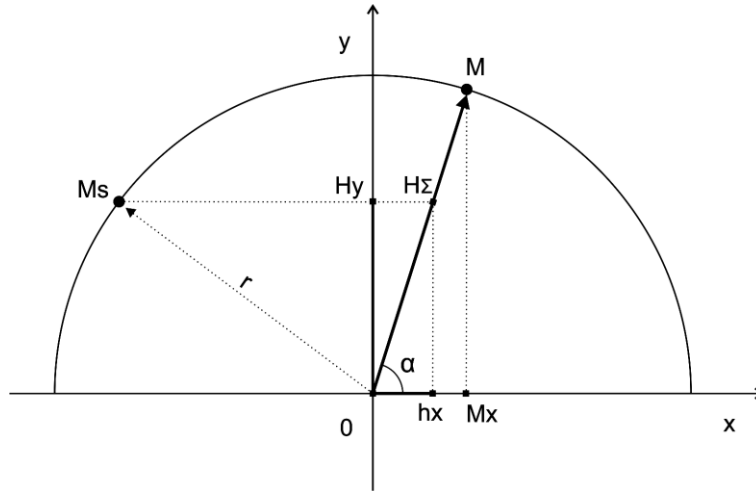


Рис. 3. Диаграмма намагниченности магнитопровода при наложении ортогональных магнитных полей

Построим вектор $\mathbf{OH\Sigma}$, являющийся суммой векторов \mathbf{Hy} и \mathbf{hx} . Проведем прямую от \mathbf{O} через точку $\mathbf{H\Sigma}$ до дуги окружности радиуса r намагниченности \mathbf{Ms} . Тогда проекция вектора \mathbf{OM} на ось \mathbf{Ox} , точка \mathbf{Mx} ,

равная: $M_s \sin(\alpha)$, где $\alpha = \arctg\left(\frac{h_x}{H_y}\right)$

Значение намагниченности, как известно, определяется по формуле (в системе СГС):

$$M_s = \frac{B_y - H_y}{4\pi} \quad (6)$$

Значение проницаемости можно определить через магнитную восприимчивость δ :

$$\mu = 1 + 4\pi\delta = 1 + 4\pi \frac{M}{H} \quad (7)$$

Следовательно, величина магнитной проницаемости в плоскости \mathbf{x} будет равна:

$$\mu_x = 1 + 4\pi \frac{M_s \sin(\alpha)}{h_x} \quad (8)$$

Принимая во внимание ничтожность напряженности магнитного поля в плоскости \mathbf{x} , расчет можно свести до вычисления проницаемости в плоскости \mathbf{y} :

$$\mu_x = 1 + 4\pi \frac{M_s}{H_y} \quad (9)$$

Если величина поля смещения \mathbf{Hy} недостаточно велика, то намагниченность не оказывает большого влияние на проницаемость ортогональной плоскости. В этом случае смещение по оси \mathbf{y} не влияет на изменение проницаемости по оси \mathbf{x} .

Дальнейшее преобразование формулы (9) позволяет существенно упростить расчет и обойтись без вычисления намагниченности \mathbf{Ms} :

$$\mu_x = 1 + \frac{B_y - H_y}{H_y}, \quad (10.1)$$

но $\mathbf{B-H}$ это поляризация \mathbf{J} . Если $H \ll J \Rightarrow B = J$, значит:

$$\mu_x = 1 + \frac{B_y - H_y}{H_y} = 1 + \frac{J_y}{H_y} \approx \frac{B_y}{H_y} \quad (10.2)$$

Оказывается, что достаточно только рассчитать проницаемость по плоскости \mathbf{y} и обойтись без усложнения расчета.

Тогда резонно возникает вопрос, раз величина магнитной проницаемости в ортогональных плоскостях, согласно (10.2) изменяется идентично, почему мы наблюдаем отставание в изменении проницаемости в плоскости, ортогональной насыщаемой? Ответ прост. Поверхность, перпендикулярная насыщаемой, не испытывает влияния э.д.с. от катушки, создающей поля насыщения, и, следовательно, в выходной катушке не возникает противо-э.д.с. Отсутствует обратная электромагнитная связь, но лишь до тех пор, пока общая часть магнитопровода не входит в режим насыщения.

Иначе обстоят дела, когда намагничивание производится сразу в двух плоскостях, как, например, в параметрическом генераторе, где наряду с обмоткой управления, создающей магнитный поток изменения проницаемости магнитопровода, магнитный поток создает и генераторная катушка. В таких случаях проницаемость общего для плоскостей участка магнитопровода можно рассчитать через суммарную намагниченность.

Зная напряженность магнитного поля в плоскостях x и y , вычислим их суммарную величину:

$$H_{\Sigma} = \sqrt{H_y^2 + H_x^2} \quad (11)$$

По графику насыщения магнитопровода вычислим величину вектора магнитной индукции для суммарной напряженности магнитного поля.

Теперь мы можем рассчитать суммарную намагниченность:

$$M_{\Sigma} = \frac{B_{\Sigma} - H_{\Sigma}}{4\pi} \quad (12)$$

Теперь мы без труда сможем вычислить магнитную проницаемость общего участка магнитопровода:

$$\mu_{\Sigma} = 1 + 4\pi \frac{M_{\Sigma}}{H_{\Sigma}} \quad (14)$$

Но и здесь возможно упростить расчет. Достаточно рассчитать сумму напряженности магнитного поля по двум плоскостям, вычислить по графику величину вектора магнитной индукции и воспользоваться формулой (10.2) для определения магнитной проницаемости общего участка магнитопровода.

При ортогональном изменении проницаемости необходимо приложить в 3.5 – 4 раза больше мощности, чем при параллельном. При этом такое управление потребляет от источника тока от 5 до 10 раз меньше мощности, т.к. вся энергия в основном имеет реактивный характер, что было подтверждено экспериментальными проверками [2], [7].

Существенной проблемой при построении параметрического генератора является режим полного насыщения общего участка магнитопровода. В этом случае магнитные потоки начинают менять плоскости распространения и оказывают взаимное влияние.

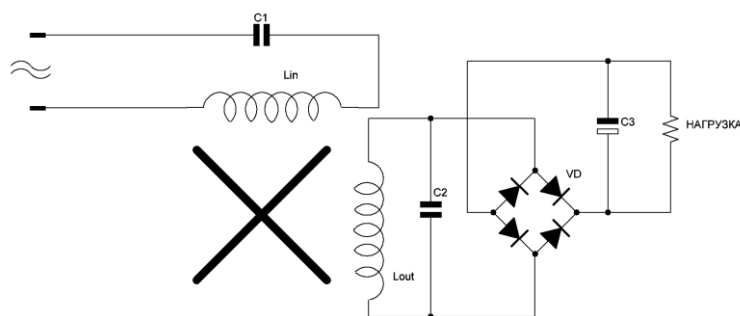


Рис. 4. Электрическая схема гетеропараметрического трансгенератора

Когда ортогональная поляризация осуществляется переменным по времени током, а постоянная составляющая отсутствует, то проницаемость магнитопровода периодически меняется. Это можно использовать, например, при построении гетеропараметрического генератора переменного тока. Подробнее о параметрической генерации [3], [4] и [5]. Принципиальная схема такого генератора приведена на рис.4. Его работа рассмотрена в моей статье «Ортогонально – потоково – обмоточный трансформатор и его применение» в [1]. Большим преимуществом гетеропараметрического генератора, изготовленного на базе «Ортранема», является отсутствие взаимной индукции входной и выходной обмоток, полный срыв и прекращение генерации тока при возникновении короткого замыкания и восстановление колебаний после его устранения.

Выводы

Более детальный анализ дизайна «Ортранема» показывает, что для уменьшения активных и реактивных потерь во входной части трансформатора необходимо стремиться применять ферромагнетик с большой начальной магнитной проницаемостью и величиной насыщения, большей, чем у выходного сердечника. В качестве сердечника выходной обмотки, наоборот, желательно применять ферромагнетик с невысокой проницаемостью и более длинным магнитопроводом.

«Ортранем», в сравнении с ортогонально–потоковыми трансформаторами других конструкций [6], [7], не имеет воздушного зазора, а значит, и не имеет полей размагничивания. Магнитные потоки входной и выходной обмоток полностью ортогональны на всем своем протяжении, следовательно,

входная обмотка не наводит э.д.с. в выходной обмотке, и отсутствует взаимная индукция, за исключением случая перенасыщения, о котором говорилось выше. «Ортранем» может найти применение в системах электропитания, фильтрации и генерации токов.

В настоящее время подана заявка на получение Патента на параметрический ортогонально–поточный трансформатор с независимыми магнитопроводами – «Ортранем».

Список литературы / References

1. *Парамонов М.И.* Ортогонально–поточно–обмоточный трансформатор и его применение. Проблемы современной науки и образования. № 33 (115), 2017. Изд. «Проблемы науки». Москва ISSN 2304-2338.
2. *Задерей Г.П., Заика П.Р.* Многофункциональные трансформаторы в средствах вторичного электропитания. М.: «Радио и связь», 1989.
3. *Папалекси Н.Д.* О некоторых современных проблемах в области колебаний. «Успехи физических наук». № 1. С. 185-213, 1931.
4. *Папалекси Н.Д.* Воздействие на авто– и потенциально–автоколебательные системы. Доклады, резолюции и материалы I Всесоюзной конференции по колебаниям. Сборник I. С.7-116. ГТТИ, 1933.
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. ISSN 2410-2865.
6. *Солдатов С.Е., Кордаков Л.В.* Управляемые потоком трансформаторы для вторичных источников питания радиоэлектронной аппаратуры. Электронная техника. Серия Радиодетали и компоненты. Вып. 4. С. 31-34, 1983.
7. *Kusko A., Cain F.* Ionized Magnetics Workshop. IEEE Trans on Magnetics. Vol. MAG-12. № 4. July. P. 1237, 1976.