

# Индуктивный преобразователь тепловой энергии окружающей среды в электрическую энергию

Заев Николай Емельянович.  
143970, Московская область, дер. Салтыковка,  
ул. Граничная., дом 8  
тел: 7-095-529-96-64

## Аннотация

*Автор излагает основы для реализации цикла "намагничивание - размагничивание" для индуктивности с магнитным сердечником в таком режиме, когда обеспечивается генерация избыточной энергии во время "размагничивания". Подробно описаны эксперименты, которые доказывают эти выводы. Соотношение  $\varphi = \text{энергия размагничивания} / \text{энергия намагничивания} > 1$  достигнуто в устройстве, содержащем индуктивность с магнитным сердечником. Автор считает, что основой для  $\varphi > 1$  является наличие спонтанной намагниченности в области  $H = (1,2 \div 1,4)H_c$ , когда размагничивание осуществляется за счет фактора  $kT$  (то есть тепла энергии окружающей среды). Автор экспериментально получил  $\varphi > 2$  на частоте 1 КГц. Автор назвал этот преобразователь тепла "феррокэссор" (концентратор энергии окружающей среды).*

Для того, чтобы найти способ реализации соотношения (1) рассмотрим подробно энергетические аспекты цикла "M-D" (намагничивание – размагничивание)

$$\frac{A_M}{A_D} = \frac{\text{energy "M"}}{\text{energy "D"}} = \varphi > 1 \quad (1)$$

Основой для реализации (1) является очевидная реальная разность энергий  $A_M$  и  $A_D$ , о которой упоминать не принято. Энергия  $A_M$  является суммой части энергии ("инъекция"), которая пришла от стороннего источника  ${}_1A_M$  и энергии спонтанного намагничивания  ${}_0A_M$  (это свободная энергия магнитного сердечника), которая была "мобилизована" энергией  ${}_1A_M$ . Энергия  $A_D$  (размагничивания) обусловлена только разупорядочивающим эффектом фактора  $kT$ , то есть тепловой энергией магнита, которая является возобновляемым источником энергии окружающего пространства. Это принципиальное отличие нашего рассмотрения энергетики цикла "M-D" (мы рассматриваем прямоугольные импульсы с  $V_0 = \text{const}$  длительностью  $t_u$ ) от других прикладных инженерных решений задач [1-6], где априори считается, что энергии соотносятся как  $A_M > A_D$  и  $\frac{A_D}{A_M} < 0$ . В подобных случаях  $t_u$  составляет порядка 10  $\mu\text{s}$  и расчеты делаются на основе канонических уравнений [7, стр 140]:

$$i = \frac{V_0 \cdot t_u}{\omega L} e^{-\alpha t} [\omega \cos \omega t - \alpha \sin \alpha t] \quad (2)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{R}{2L}, \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2}.$$

Однако, как это было однозначно доказано в [8], подобные выражения (поскольку они были получены из уравнений Максвелла) нельзя употреблять для импульсных сигналов (незамкнутых цепей). Как утверждает автор [8],  $\delta$ -функции, интеграл Дюамеля и ступенчатую функцию нельзя применять для решения такого рода проблем. Очевидно, что эти выводы могут стать основой для другого видения энергетических процессов в индуктивности и ее основных компонентах (магнитном сердечнике), в частности для импульсных токов.

Например, уравнение  $\mu = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$  можно представить

в виде

$$\mu = \frac{BH}{\mu_0 \cdot H^2} \quad (3)$$

и это должно быть истолковано как уровень энергии, которая находится в индуктивности (на  $1 \text{ м}^3$ ), отнесенный к энергии первичного магнитного поля в вакууме (в  $1 \text{ м}^3$ ), поскольку первичным магнитным полем называется выражение для энергии  $BH$ .

Кроме того, существует вопрос о максимально экономичном пути создания поля  $\mu_0 H$  и об

извлечении энергии  $\frac{BH}{2}$  (вплоть до этого уровня).

Энергия, в идеале доступная для извлечения в фазе "D":

$$\Delta = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot H_2 (\mu - 1) \frac{J}{\text{м}^3} \quad (4)$$

однако, на самом деле:

$$\Delta = \frac{1}{2} \mu_0 \left( \frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} - 1 \right) \cdot H^2 \cdot \mu_{\min} \frac{J}{\text{м}^3} \quad (5)$$

В другом варианте:

$$\varphi = \frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} - 1 \quad (6)$$

Так выглядят перспективы в общем виде.

Особенности импульсов тока со ступенчатыми (крутыми) фронтами - земля "terra incognita" уже долгое время для инженерных изысканий в системах зажигания двигателей внутреннего сгорания.

Так, в [9] авторы отмечают, что за время  $t_0$  (короткая часть импульса) ток в индуктивности изменяется так быстро, почти скачкообразно, что мы можем сомневаться в применимости (или эффективности) второго закона Кирхгофа во время  $t_0$ :

$$L \frac{di}{dt} + RI = V(t) \quad (7)$$

Действительно, в эксперименте [9] судя по всему, первый член уравнения отсутствует. Для того, чтобы найти выход, в [9] они используют достаточно "тонкие" приемы, чтобы остаться в рамках классической физики. Но мы можем сделать это другим образом, мы можем сделать выражение (7)

верным, если мы введем  $L \frac{d^2i}{dt^2} \cdot \delta t_0$  вместо  $L \frac{di}{dt}$ .

Итак, "короткая часть" импульса, которая была отмечена авторами в [9] это интервал времени, когда

$$\frac{d^2i}{dt^2} \neq 0$$

Мы получили позитивный результат на индуктивности, состоящей из 16 отдельных кольцеобразных катушек с двумя одинаковыми обмотками на каждой,  $L_1=L_2$ . 16 катушек  $L_1$  соединены параллельно (первичная обмотка), а 16 катушек  $L_2$  соединены последовательно (вторичная обмотка). При  $H_c$  около 2А/м, ток  $i_c=9,4$  мА (измерения проводились индуктивным методом в соответствии с ГОСТ 12119-66), Рис. 1.

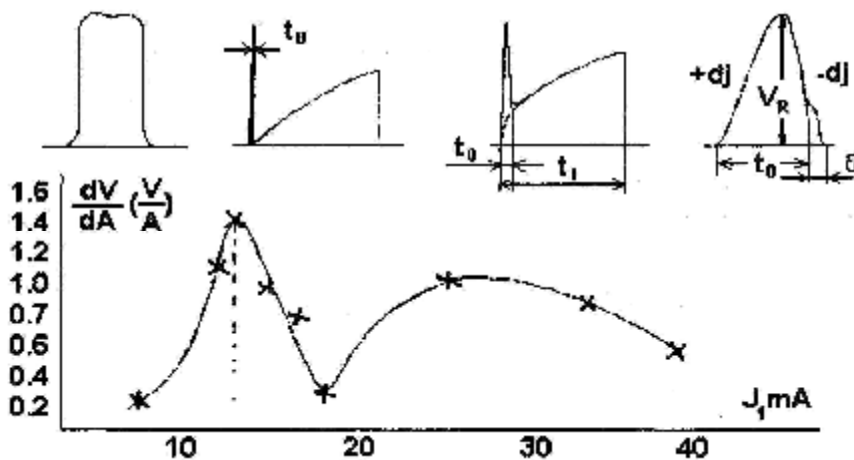


Рис. 1

Достижение максимального тока в короткий период перед процессом коммутации (на размыкание) мы можем рассматривать как результат непосредственного намагничивания. Это самые сокровенные секреты формирования магнитной энергии в магнитном сердечнике, как было отмечено ранее в [10]. Начальное магнитное поле с интенсивностью  $\mu H(i)$  появляется в вакууме очень быстро, то есть во время  $t_0$  и это вызывает (провоцирует) спонтанную намагниченность, которая развивается лавинообразно (как цепная реакция). Это происходит согласно теории магнетизма, в частности в области реверсивных перемещений и в области Релея [11-13]. Здесь, как это известно, достаточно малого «запала» или «легкого прикосновения» внешнего поля, чтобы вызвать внутреннее поле (Veiss's), которое в  $\sim 10^3$  раз больше, чем внешнее поле. Действие поля  $H$  в течение  $t_0$  можно сравнить с ударом, и эффект от этого воздействия сказывается в магните долгое время как затухающий "звон".

Прим. редактора: Со слов Н. Тесла мы называем этот эффект свободными вибрациями. Он использовал не-синусоидальный импульс (дуговой разряд) первичного источника, а затем его схема генерировала резонансные синусоидальные колебания в соответствии с номиналами емкости и индуктивности. Судя по всему идея Н. Заева похожа на концепцию свободной энергии, предложенной Томасом Берденом, США в его знаменитой статье «Финальный секрет свободной энергии». Сначала первичный источник создает короткий импульс «активации» некоего «коллектора», а затем в период «релаксации» становится возможным взять энергию с этого коллектора независимо от первичного источника энергии.

За время  $t_0$  появляется (создается) большая часть энергии  $\frac{BH}{2}$  и "плата" за появление этой энергии весьма символична. На Рис. 1.2 и Рис.. 1.3 мы видим рост тока после  $t_0$  в области вращения вектора намагниченности. Очевидно, что "плата" за увеличение  $\frac{BH}{2}$  на данной стадии несравнимо выше, чем в области  $H_c$ .

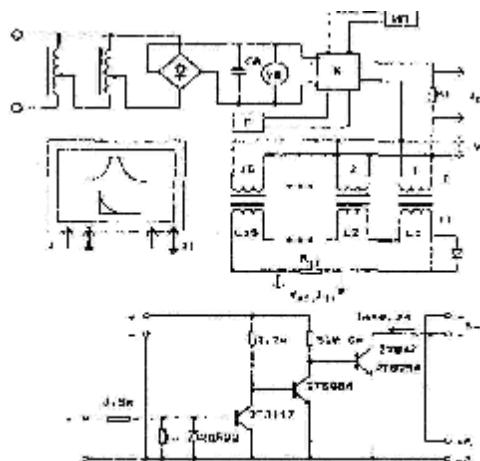


Рис.2

На Рис. 2 приведена схема измерительного устройства и необходимые пояснения. Размеры экрана осциллографа: 8x10 см. Погрешность считывания  $\pm 3\%$ . Объект данного исследования, кА было сказано выше, содержит 16 индуктивностей. Каждый из торроидальных сердечников сделан из пермаллоя 79НМ толщиной 0,05 мм ( $D_{\text{внеш}}=90$  мм,  $D_{\text{внут}}=83$  мм,  $h=16$  мм, объем  $15,2$  см<sup>3</sup>). Их магнитные свойства соответствуют ГОСТ 10160-75, класс первый;

$$\mu_{\text{initial}} = 20 \cdot 10^3, \mu_{\text{max}} \sim 115300, \frac{\mu_{\text{max}}}{\mu_{\text{init}}} \sim 6. \text{ На каждый}$$

сердечник наматывается по 60 витков медного эмалированного провода. Этот провод –  $\varnothing 0,43$  мм,  $R=0,4$  Ом,  $L_{\text{max}} = 107 \cdot 10^{-3}$ . Величина индуктивности первичной обмотки (16 катушек соединены параллельно) для  $\mu_{\text{max}}$  равна:

$$L_1 = \frac{1}{16} \cdot 107 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 6,69 \cdot 10^{-3} \text{ H};$$

величина индуктивности вторичной обмотки (16 катушек соединены последовательно)  $L_{11}=16 \cdot 107 \cdot 10^{-3} = 1,712$ Н. Ток в импульсе (верхняя часть рисунка на экране) первичной обмотки для  $\mu_{\text{max}} \sim 160$  мА, резисторы типа МЛТ. Значения номиналов подобраны при помощи цифрового омметра с точностью  $\pm 0,8\%$ . Измерение энергии проводилось путем измерения площади под кривой зависимости напряжения  $V^2 - t$  или путем пошагового умножения  $\Delta t \cdot (V_i \cdot i_i)$  с последующим сложением результатов.

Для проверки изменений  $\mu(i)$  для индуктивности  $L_1$  (для совокупности всех катушек) было определены изменения  $\frac{\Delta V_{II}}{\Delta V_I}$  на частоте 50Гц; результат, который

совпадает с паспортными данными на этот магнитный сердечник, можно посмотреть на Рис. 1.5.

Давайте сделаем численные оценки соотношения между тепловой энергией индуктивности (без обмоток) и ее максимальной магнитной энергией.

Объем всех 16 сердечников составляет около 243 см<sup>3</sup>, а их масса около 2 кг (при плотности 7.8 г·см<sup>-3</sup>). Удельная теплоемкость пермаллоя около 0.46 КДж/(кг·К), поэтому в сердечниках запасено  $255,7 \cdot 10^3$  Дж при температуре 20° С. С  $\mu_{\text{max}} L_1=6,7 \cdot 10^{-3}$ , ток около 10 мА в каждой обмотке, а вся магнитная энергия

$$A_0=0,5L_1 \cdot i^2=0,5 \cdot 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot (0,16)^2 = 85,6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Таким образом, магнитная энергия составляет только  $\frac{85,6 \cdot 10^{-6}}{255,7 \cdot 10^3} = 3,35 \cdot 10^{-8}$  часть от величины тепловой энергии. Действительно, это капля в море тепла.

(Прим. редактора: Итак, этот метод прямого преобразования теплоты окружающей среды в электричество является чрезвычайно перспективным и технически возможно создание очень компактных устройств с большой выходной мощностью).

Спад тока импульса накачки до точки а (Рис. 1.4) вызван увеличением  $L(i)$ . Сначала ток растет (за счет малости  $\mu \sim \mu_{\text{initial}}$ ), поскольку индуктивность практически отсутствует. Но с момента начала спонтанного лавинообразного процесса (когда  $H(t)$  достигнет некоего уровня запуска  $H_{st} \ll H_s$ )

$$i = \frac{1}{R} \left( V_0 - L(i) \frac{di}{dt} \right) \quad (8)$$

рост тока замедляется  $\left( + \frac{di}{dt_1} < + \frac{di}{dt_2} \right)$ ; при

максимуме  $i \frac{di}{dt} = 0$  и затем  $\frac{di}{dt}$  становится

отрицательным, ток падает еще до разрыва цепи (Рис. 1.4).

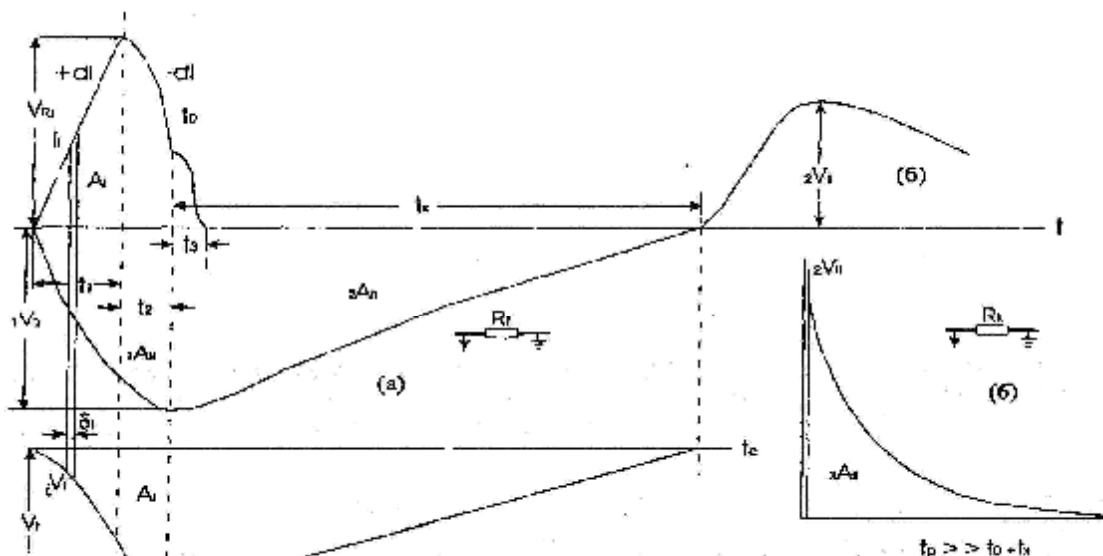


Рис.3

Однако, процесс намагничивания не останавливается (Рис. 3а) однако ступенчатое (резкое) увеличение  $\frac{dV_{II}}{dt}$  сменяется не более пологий спад с учетом того, что достигнут уровень потока  $\Phi_0$ . Мы можем видеть это из изменений  $V_{II}$ : от  $V_{II}^{max}$  до  $V_{II} = 0$  снижение идет через  $t_x$ .

Явление роста  $\Phi_0$  после  $t_0$  известно. Таким образом, как оно упомянуто и в [14] в ферромагнитных материалах индукция отстает от быстрого изменения напряженности поля. Особенно очевидно это становится при малых напряженностях поля в области максимальных значений диэлектрической проницаемости для материалов с большим значением  $\mu$ . То же самое можно найти в [11] и в полном объеме в [13]. Обычно это явление связано с магнитной вязкостью и количественно интенсивность ее динамики обычно описывается выражением

$$\Delta M = (M_{\infty} - M_0) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (9)$$

где  $M_0$  - намагниченность сразу после изменения магнитного поля ( $t=0$ ),  $M_{\infty}$  - новое равновесное значение намагниченности,  $\tau$  - время релаксации (может быть от  $10^{-9}$  сек до нескольких часов). Диффузия примесей и дефекты или температурные флуктуации считаются энергетической основой  $\Delta M$  эффекта. В последнем случае (согласно Neel) флуктуации способствуют преодолению энергетических барьеров доменами, что приводит к росту  $\mu$  и  $\Phi$ . Более распространенное название этой вязкости - магнитная аккомодация. С ростом  $t$  (при  $\tau = const$ )

$$\Delta M \rightarrow (M_{\infty} - M_0) \quad (10)$$

то есть рост намагниченности останавливается при достижении  $M_{\infty}$ . Но в наших результатах изменения  $\Delta M$  имеют двоякое действие: положительное в начале  $+\Delta M$  и затем отрицательное, когда  $M_{\infty} \rightarrow 0$ . Это обстоятельство становится основой технологии съема энергии с магнитного сердечника индуктивности.

Известны отдельные попытки использования цикла «намагничивание - размагничивание» для преобразования тепловой энергии магнитного материала. Так, в [15] описано применение магнитов на основе редкоземельных материалов при  $T_N$  (Neel's температура), когда намагниченность изменяется на  $\Delta M_S$  (в присутствии поля  $H$ ). Если образец находится в катушке, то появляется преобразование спонтанного намагничивания  $F\Delta M_S^2$  ( $F$  - изменяемый параметр) в электрическую энергию. Затем образец снова охлаждается при изменении  $\Delta M_S$ ; но эффективность здесь не больше, чем у стандартного цикла Карно. Другой метод [16] основан на переориентации спина магнитного момента, когда он меняется на  $90^\circ$ , например, в кристалле  $Nb-Co_2$  в интервале 245 - 225. Незначительная эффективность и сложность перехода между двумя состояниями привели к полному забвению этого мнения.

Идея общей асимметрии (сила действия равна силе противодействия?) энергии силового импульса, который действует на систему, и энергии ответа, то есть энергии противодействия, появилась в 1964 году из работы П.А. Флоренского ("Диэлектрики и их техническое применение". М. 1924), а также из анализа уравнения внутренней энергии диэлектрика Б.Б. Голицына, который добавил третий член в уравнение, что уравнило оба вида энергии - тепловую и электрическую ("Избранные труды", М. 1960, Том 1).

**Таким образом, это было получено Голицыным уже в 1893 году!**

## Выводы

1. **Возможность преобразования тепловой энергии в электрическую энергию при помощи нелинейных магнитных материалов и диэлектриков** (это также ранее обсуждалось в [17, 18]) экспериментально подтверждена.
2. Область преобразования энергии в магнитном материале (сердечник индуктивности) определяется длительностью импульса тока, создающего напряженность  $H = (1 \div 3)H_C$  с длительностью импульса накачки  $t_0 \sim 10^{-2}\tau$ , когда  $\eta \sim 30 \div 50$  при условии  $L_{II} \gg L_I$ .
3. В заданном интервале (по нашим измерениям) магнитная вязкость материала 79НМ биполярна, поэтому это явление более корректно называть "магнитная инерция".
4. Феноменология генерации энергии, точнее преобразования энергии, судя по всему обусловлена нелинейностью процессов в цикле «намагничивание - размагничивание»; их термодинамика обусловлена термофлуктуационным изменением энергии со спонтанной ориентацией доменов в соответствии с теорией Нееля.
5. Возможно увеличение коэффициента преобразования от полученного значения ( $\sim 3$ ) до  $8 \div 10$  при увеличении  $H_C$  вплоть до  $10 \div 15$  А/м, то есть при выборе материала магнитного сердечника.
6. Возможно увеличение удельной мощности при увеличении  $H_C$ , увеличении частоты, селективным отделением энергий  $1A_{II}$  и  $2A_{II}$  от энергии  $3A_{II}$ , а также при применении дополнительных диодов в цепи II, если они смогут обеспечить высокую скорость работы.

**Описан индуктивный преобразователь тепловой энергии окружающей среды, состоящий из генератора импульсов, индуктивности с магнитным сердечником и приемника энергии, я предлагаю его назвать ФЕРРОмагнитный Концентратор Окружающей Энергии - FERROCEE или "феррокексор" на русском языке.**

*В заключение хочу выразить мою благодарность Спиридонову Г.С и Степанову И.Н. за их неоценимую помощь в трудных и длительных экспериментах.*

## Обозначения

$A_M$  - энергия источника тока, затрачиваемая на намагничивание;  
 $A_D$  - энергия, получаемая на нагрузке во время размагничивания;  
 $k$  - постоянная Больцмана;  
 $T$  - температура, К;  
 $t_u$  - длительность импульса, сек;  
 $i$  - ток, А;  
 $V_0$  - ЭДС, В;  
 $\omega$  - круговая частота, сек<sup>-1</sup>;  
 $\alpha$  - коэффициент затухания;  
 $L$  - индуктивность, Г;  
 $R$  - сопротивление, Ом;  
 $C$  - емкость, Ф;  
 $\mu$  - относительная магнитная проницаемость;  
 $H$  - напряженность магнитного поля, А/м;  
 $B$  - магнитная индуктивность, Тл;  
 $\mu_0$  - магнитная постоянная  $1,2566 \cdot 10^{-6}$  Г/м;  
 $\varphi$  - коэффициент преобразования;  
 $\eta$  - коэффициент использования тока намагничивания;  
 $M$  - магнитная энергия, Дж;  
 $Q$  - тепловая энергия, Дж;  
 $\tau$  - постоянная времени, сек;  
$$x = \frac{t_u}{\tau};$$
 $z$  - коэффициент использования магнитной энергии в цепи II;  
 $t_0$  - длительность "короткой" части токового импульса, когда  $t_u \gg t_0$ ;  $-t_{0+}$ ;  
 $\Phi_0$  - магнитный поток, Вб;  
 $w$  - число оборотов.

## References

1. Alexandrov F.I., Sivakov A.R. Impulse converters and stabilizers of direct voltage. L., Energy, 1970.
2. Vdovin S.S. Designing of impulse transformers. L., Energoatomisdat, 1991.
3. Calculation and designing of impulse devices. M., Svyas', 1975.
4. Itzkhoki L.S. Impulse transformers. M., Sovetskoye radio, 1949.
5. Goldenber L.M. Theory and calculation of impulse devices on semiconductors. M., Svyas', 1969.
6. Neyman I.R., Demirtchan K.S. Theoretical principles of electrotechnology. L., M., Energiya, 1966, vol. 1.
7. Kontorovitch M.I. Operational calculation and nonstationary phenomena in electrical circuits. L., M., G.I. Techn.-Teor. Literatry, 1949, p. 140.
8. Shvarzburg A.B. Videnimpulses and noncyclic waves in dispersive mediums. UFN, vol.168, #1, 1998, p. 85-103.
9. Burtzev V.A., Kalinin N.V., Lutchinsky A.V. Electrical explosion of conductors and its application in electrophysical units. M., Energoatomisdat, 1990, p.157.
10. Zaev N.E. Genesis of inductance energy. Elektrotehnika, #10, 1997, p. 35-36.
11. Preobrazhensky A.A. Magnetic materials and elements. M., Vysshaya shkola, 1976.
12. Madelung O. Theory of solid body. M., Nauka, 1980.
13. Vonsovsky S.V. Magnetism. M., 1976.
14. Kifer I.I. Testing of ferromagnetic materials. M., L., Gosenergoisdat, 1962.
15. Belov K.P. Rare-earth magnetics and their application. M., Nauka, 1980.
16. Oholushi M.J. Appl. Phys. Japan. Vol. 15, 1976, p. 2019-2020.
17. Zaev N.E. journal of Russian physical idca. Reutov, Obschestvennaya pol'sa, 1991, #1, p. 49-52; Himiya i zhizn' (Chemistry and life), #3, 1984; report on section of MOIP at MSU "Cooling of some dielectrics by changeable field with generation of energy" 12.02.80; the same about ferrites 18.03.80; applications on invention "Method of transformation of heat energy to the electric one" #30601726/25(084904) of June 3, 1983 together with Gorshunov E.S. and #306017225/24(084905) of June 3, 1983.
18. Zaev N.E., Spiridonov J.S. Capacity converter of environmental heat to the electric energy. Elektrotehnika, #12, 1998, p.53-55.