

Р. АЛЛИКАС

ПЕРЕДАЧА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ФЕРРОМАГНИТНОМ ЭЛЕМЕНТЕ В РЕЖИМЕ ДВУХ ВЫНУЖДЕННЫХ ТОКОВ

Повышение эффективности энергетических процессов в ферромагнитных умножителях и делителях частоты, а также создание дросселей, подмагничиваемых переменным или импульсным током, связано с определением энергетического режима обмоток этих устройств. Исследование и расчет энергетических процессов в ферромагнитных преобразователях частоты можно свести к изучению этих процессов в одном ферромагнитном элементе. Передача активных мощностей исследовалась путем введения в цепь некоторых внешних э. д. с. или токов с одновременной аппроксимацией кривой намагничивания гиперболическим синусом [1] или степенным полиномом [2].

В настоящей работе для выяснения влияния формы кривой намагничивания и токов на передачу активной мощности предложен метод энергетических циклов [3, 4], который позволяет определить энергетические процессы, минуя громоздкий гармонический анализ.

Активная мощность, развиваемая первичной обмоткой магнитного элемента, определяется выражением

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 u_1 dt = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 d\psi_1, \quad (1)$$

где u_1 , i_1 , T , ψ_1 — соответственно напряжение, ток, период тока и потокосцепление первичной обмотки. Если пренебречь потерями на гистерезис и активными сопротивлениями обмоток, то $P_1 = P_2$.

При исследовании энергетических процессов первичной обмотки на координатной плоскости $\psi_1 i_1$ вторичный ток i_2 является током смещения кривой намагничивания, перенесенной на эту координатную плоскость. Траектория рабочей точки в течение периода T представляет собой контур энергетического цикла первичной обмотки. Величина площади этого цикла по интегралу (1) пропорциональна величине передаваемой активной мощности. Движению рабочей точки против часовой стрелки соответствует передача активной мощности из первичной обмотки во вторичную. Сама траектория рабочей точки является по существу динамической ψ -характеристикой первичной обмотки магнитного дросселя.

Среди всех форм кривых намагничивания реальных магнитных материалов прямоугольная аппроксимация является достаточной для выяснения основных закономерностей передачи активной мощности. Отметим, что форма кривой намагничивания (даже при учете гистерезиса) не служит препятствием к использованию метода энергетических циклов. При вынужденных токах изменение полярности насыщения маг-

нитного сердечника происходит в момент времени, определяемый условием

$$h_1 + h_n = 0, \quad i_1 \omega_1 + i_n \omega_n = 0, \quad (2)$$

где h_1, h_n — составляющие напряженности магнитного поля, соответствующие токам i_1 и i_n ; ω_1, ω_n — число витков обмоток; n — номер гармоники тока.

Предполагаем, что вынужденные токи являются синусоидальными

$$\begin{aligned} i_1 &= I_1 \sin \omega t, \\ i_n &= I_n \sin(n \omega t + \beta), \end{aligned} \quad (3)$$

где I_1, I_n — амплитуда первичного и вторичного токов.

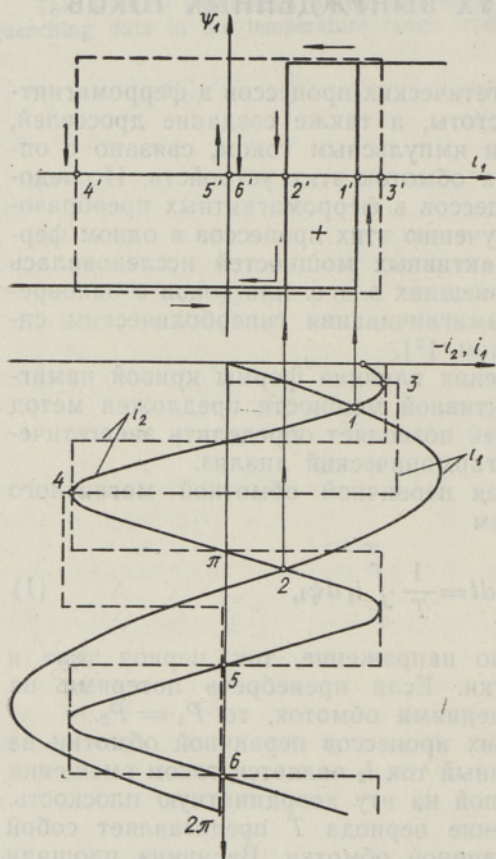


Рис. 1. Графическое построение энергетического цикла.

активной мощности зависит только от начальных фаз, а при четвертой гармонике — и от величины амплитуды четвертой гармоники (рис. 2 и 3). Зависимость максимальной передачи активной мощности от амплитуды вторичного синусоидального тока I_n приведена на рис. 3. ($I_1 = 1,0$). При некоторых фазовых соотношениях существуют режимы, где передача активной мощности равняется нулю (рис. 2).

Определим коэффициент использования ферромагнитного материала как отношение передаваемой активной мощности исследуемого умно-

Если число витков первичной и вторичной обмоток равно $\omega_1 = \omega_2$, то величина энергетического цикла при прямоугольной форме кривой намагничивания зависит только от условия $i_1 = -i_2$ (на рис. 1 от точек пересечения графиков токов i_1 и i_2). Возможные варианты формы токов, при которых величина передаваемой мощности не изменяется, легко определить по графическим изображениям.

При синусоидальных вынужденных токах некоторые типичные зависимости $P_1(\beta)$ от начальных фаз токов, близкие к максимальному режиму передачи активной мощности, приведены на рис. 2. Эти графики представлены в системе относительных единиц [5]. За базисные единицы выбраны насыщение магнитного сердечника (B_n) и амплитуда тока первичной цепи (I_1). Круговая частота первичного тока ω в этой системе единиц выбирается равной единице.

Как следует из графиков (рис. 2), число максимумов для первой и третьей гармоник вторичного тока, а также для второй и четвертой — одинаково. При первой, второй и третьей гармониках тока направление передачи

жителя частоты к максимальной мощности трансформатора при одинаковых плотностях токов в обмотках и одинаковом объеме магнитного материала. Максимальные коэффициенты использования магнитного материала с прямоугольной формой кривой намагничивания, работающего в режиме синусоидальных вынужденных токов, приведены в таблице.

Учитывая достижения современной полупроводниковой техники, можно предположить, что создание источников вынужденных токов прямоугольной формы более реально, чем создание генераторов токов синусоидальной формы. Кроме того, при импульсных вынужденных токах коэффициенты использования k_{II} могут быть более высокими, чем при синусоидальных вынужденных токах. Для примера на рис. 1 пунктирной линией показан режим, при котором первичный и вторичный токи имеют импульсную форму. При синусоидальных токах с амплитудами 1,0 мощность трансформатора в относительных единицах $P_{1T} = 4/2\pi = 0,625$ при общем эффективном токе в окне магнитного сердечника $I_{\Sigma} = 1,41$. Мощность умножителя частоты в приведенном режиме $P_{1Y} = 4/2\pi = 0,625$ при токе $I_{\Sigma} = 1,707$. Коэффициент использования

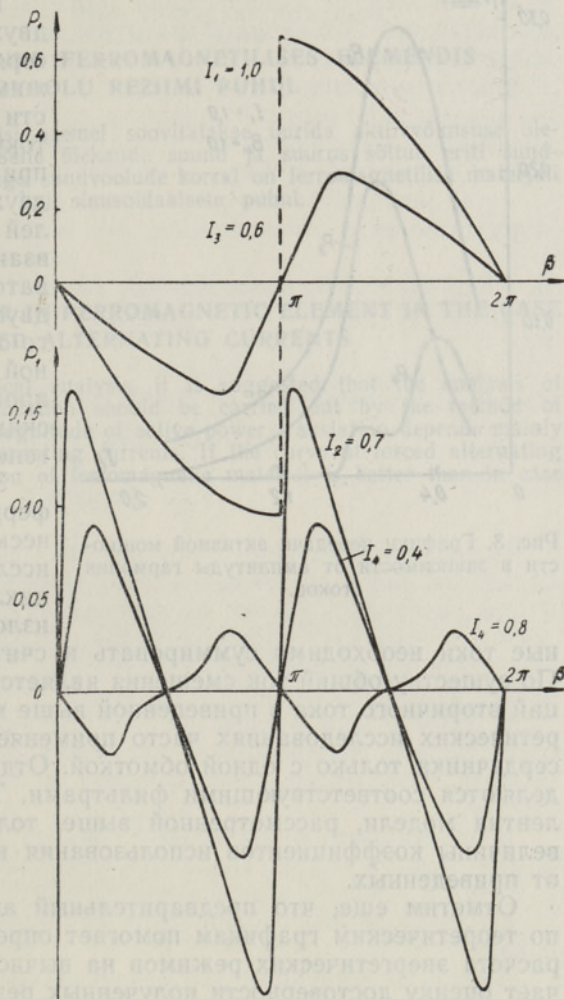


Рис. 2. Графики передачи активной мощности в зависимости от начальных фазовых соотношений токов.

n	I_n/I_1	$P_{1,max}$	k_{II}
1	1,0	0,64	1,0
2	0,7	0,19	0,35
3	0,6	0,30	0,43
4	0,4	0,09	0,20

$$k_{II} = \frac{1,41}{1,707}, \quad \frac{P_{1Y}}{P_{1T}} = 0,83.$$

Отметим, что существуют режимы с более высоким коэффициентом использования. При пикообразных импульсных токах коэффициент использования может превышать единицу. Следовательно, режимы с прямоугольными вынужденными токами имеют некоторые преимущества перед режимами с чисто вынужденными синусоидальными токами.

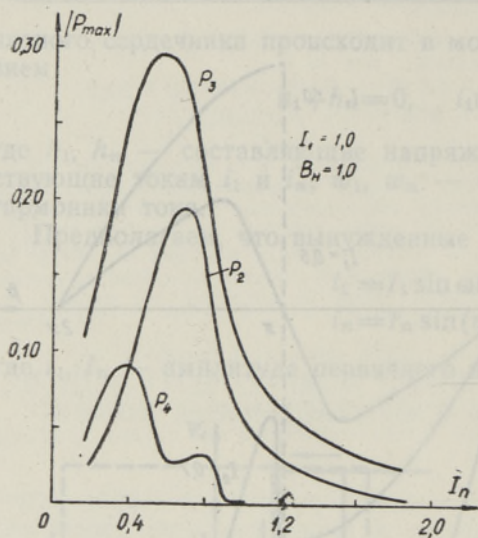


Рис. 3. Графики передачи активной мощности в зависимости от амплитуды гармоник токов.

ные токи необходимо суммировать и считать общим током смещения. По существу общий ток смещения является одной из возможных вариаций вторичного тока в приведенной выше модели. Отметим, что при теоретических исследованиях часто применяется модель ферромагнитного сердечника только с одной обмоткой. Отдельные гармоники токов разделяются соответствующими фильтрами. Такая модель вполне эквивалентна модели, рассмотренной выше, только из-за совмещения токов величины коэффициентов использования в некоторой мере отличаются от приведенных.

Отметим еще, что предварительный анализ энергетических циклов по теоретическим графикам помогает определить исходные данные для расчета энергетических режимов на вычислительных машинах и облегчает оценку достоверности полученных результатов.

В реальных преобразователях частоты исследование энергетических процессов удобно провести по соответствующим циклам, полученным на экране осциллографа. Сравнивая их с графически полученными, нетрудно найти способы улучшения энергетических режимов преобразователей частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелодиев Л. С., Энергетические соотношения в электрических цепях с ферромагнитной связью. Тр. Международ. симпозиума по нелинейным колебаниям, 1963, 3, Киев, АН УССР, 1963, с. 230—239.
2. Алликас Р., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 18, 321 (1969).
3. Алликас Р., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 17, 419 (1968).
4. Рахимов Г. Р., Энергетические циклы автопараметрических колебаний нелинейных электрических цепей. Тр. Ташк. политехн. ин-та, новая серия, вып. 18 (1961).
5. Бамдас А. М., Блинов И. В., Захаров Н. В., Шапиро С. В., Ферромагнитные умножители частоты, М., 1968.

R. ALLIKAS

AKTIIVVÕIMSUSE ÜLEKANNE FERROMAGNETILISES ELEMENDIS KAHE SUNDVOOLU REŽIIMI PUHUL

Töömahuka harmoonilise analüüsi asemel soovitatakse uurida aktiivvõimsuse ülekannet energeetiliste tsüklite abil. Selle ülekande suund ja suurus sõltub eriti sundvoolude faasisuhtest. Täisnurkse kujuga sundvoolude korral on ferromagnetilise materjali energeetiline kasutamine efektiivsem kui sinusoidaalsete puhul.

R. ALLIKAS

TRANSLATION OF ACTIVE POWER IN FERROMAGNETIC ELEMENT IN THE CASE OF TWO FORCED ALTERNATING CURRENTS

To avoid an unwieldy harmonical analysis, it is suggested that the analysis of the processes of active power translation should be carried out by the method of energetic cycles. The direction and magnitude of active power translation depends mainly on the phase relations of forced alternating currents. If the curve of forced alternating currents is rectangular, the utilization of ferromagnetic material is better than in case of sinusoidal ones.