

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ КРИВОЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА В ЦЕПИ ФЕРРОМАГНИТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ЖЕСТКИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В. Л. КОСЕНКО, А. И. ЗАКС

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Существенное влияние на технико-экономические показатели оказывает качество передаваемой энергии от преобразователя к нагрузке, так как трансформирование несинусоидального напряжения вызывает большие дополнительные потери системы в целом. В связи с этим представляется важным решение вопроса об оптимальном варианте проектирования статических преобразователей частоты с точки зрения получения синусоидального напряжения на его выходе.

В данной статье проводится анализ формы кривой выходного напряжения и тока в цепи ферромагнитного делителя частоты в три раза.

Схема исследуемого делителя частоты приведена на рис. 1. Она состоит из последовательно соединенных нелинейного — НЭ и линейного — ЛЭ элементов, конденсаторов С и специального зарядного устройства ЗУ, включающего в себя выключатель К, балластное сопротивление R_{δ} и маломощный вентиль [1].

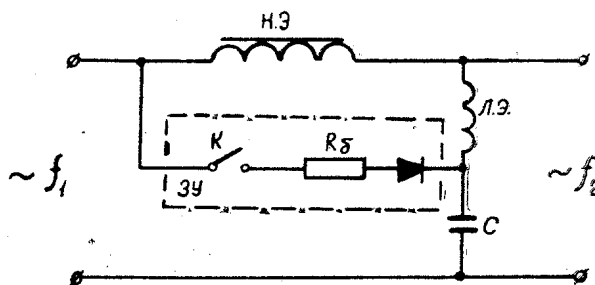


Рис. 1

При подключении делителя к сети в последовательной цепи, содержащей нелинейную индуктивность и линейную емкость С, вследствие автопараметрического резонанса возбуждаются мощные субгармонические колебания с частотой в три раза меньше частоты питающей сети. Практически эти колебания несинусоидальны, так как на выход резонирующей системы в данном случае неизбежно проникновение частоты питающей сети и гармоник преобразования с выхода нелинейного элемента.

Для оценки формы субгармонических колебаний при периодическом характере процесса возбуждения, обычно пользуются коэффициентом гармоник [2]

$$k_r = \frac{\sqrt{\sum U_n^2}}{U_1},$$

где U_n — амплитуда n -й гармоники выходного напряжения, ($n > 1$),
 U_1 — амплитуда основной гармоники выходного напряжения.

Амплитудное значение n -й гармоники выходного напряжения определяется из выражений:

$$U_n = \sqrt{(U_n')^2 + (U_n'')^2};$$

$$U_n' = \frac{2}{T} \int_0^T U(t) \cos \omega t dt;$$

$$U_n'' = -\frac{2}{T} \int_0^T U(t) \sin \omega t dt.$$

Величины косинусной U_n' и синусной U_n'' составляющих определяются графически при разложении кривой выходного напряжения U в ряд Фурье [3].

Несинусоидальность субгармонических колебаний также зависит и от положения рабочей точки, характеризующей данный режим работы делителя, в пределах области существования колебаний.

Для делителя частоты в три раза были определены границы области существования устойчивых субгармонических колебаний, которые приведены на рис. 2.

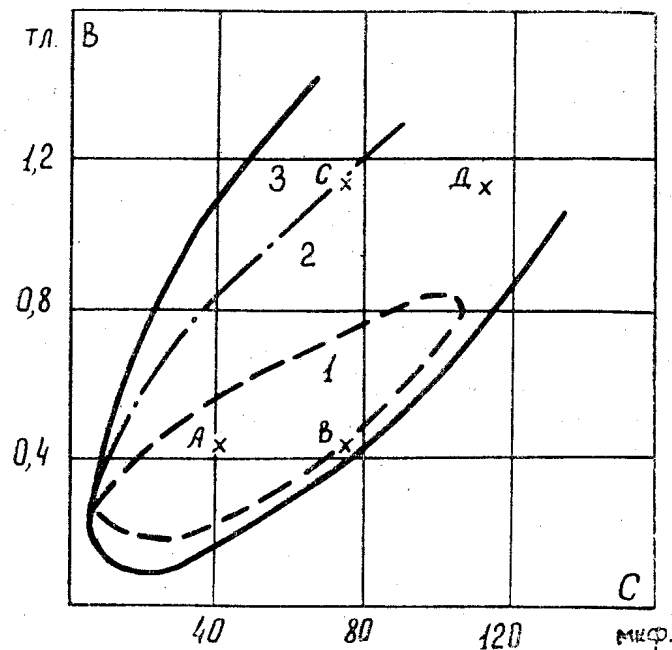


Рис. 2

В результате экспериментального исследования установлено, что при изменении индукции в цепи нелинейного элемента в пределах области существования изменяется и форма кривой выходного напряжения: от уплощенной — при малых значениях индукции — вблизи правой границы области, до синусоидальной, которая при больших значениях индукции — вблизи левой границы области, значительно искажается.

Форма кривой выходного напряжения зависит также и от величины емкости конденсаторов, включенных последовательно в цепь: при малых значениях C — форма кривой в большей степени приближается

к синусоидальной, затем с увеличением емкости конденсаторов — переходит к уплощенной и при значительных C форма кривой выходного напряжения приближается к прямоугольной.

Следовательно, внутри области существования можно выделить определенные зоны с колебаниями, содержащими различный процент гармонических составляющих. Пунктирной линией здесь выделена зона, в пределах которой форма кривой выходного напряжения в наибольшей степени приближается к синусоидальной, коэффициент гармоник k_T здесь изменяется от 12 до 18% (зона 1). В большей степени искажена форма выходного напряжения, если рабочая точка делителя находится в зоне 2, которая на рисунке ограничена штрихпунктирной линией. В пределах этой зоны коэффициент гармоник изменяется от 18 до 40%.

Гармонический анализ кривых напряжения и тока в зоне 2 показал, что при индукциях, значения которых лежат выше зоны 1, преобладающее значение в кривой выходного напряжения имеет третья и пятая гармонические, а при значениях индукций, лежащих ниже зоны 1, в основном сказывается влияние третьей гармоники, поэтому форма кривой выходного напряжения здесь выглядит более уплощенной.

Если рабочая точка делителя находится в зоне 3 при индукциях, значения которых лежат за пределами зоны 2, форма кривой выходного напряжения сильно искажена из-за присутствия третьей, пятой и седьмой гармоник. Коэффициент гармоник в этой области изменяется от 40% и выше.

На рис. 3 приведены осциллограммы, снятые для различных рабочих точек делителя в пределах области существования колебаний, показанных на рис. 2.

Вид кривых выходного напряжения и тока для рабочей точки делителя А, находящейся в зоне 1, показан на рис. 3а. Форма кривой выходного напряжения искажена здесь в меньшей степени. Гармонический анализ показал, что коэффициент гармоник здесь составляет 15%, третья гармоническая k_3 — 8%, пятая k_5 — 8%, седьмая k_7 — 7%. Наибольшей по амплитуде гармонической в кривой тока в цепи делителя является третья, которая составляет 10%, пятая и седьмая — 29% и 8% соответственно.

Каким образом изменится форма выходного напряжения, если делитель будет работать при той же самой индукции, что и в точке А, но при большем значении емкости конденсаторов (в данном случае рабочая точка В), хорошо видно из осциллограммы, приведенной на рис. 3б. Гармонический состав кривой выходного напряжения здесь следующий: $k_T=26\%$, $k_3=8\%$, $k_5=3\%$, $k_7=2,5\%$. Для кривой тока имеем $k_T=40\%$, $k_3=18\%$, $k_5=8,8\%$, $k_7=8\%$.

Если при этом же значении емкости конденсаторов в цепи делителя увеличить значение индукции в нелинейном элементе до 1,15 тл. (рабочая точка С, лежащая в зоне 2), то кривая выходного напряжения будет искажена в большей степени (рис. 3в). Для кривой напряжения здесь $k_T=40\%$, $k_3=12\%$, $k_5=20\%$, $k_7=2,8\%$; для кривой тока в цепи делителя имеем $k_T=93\%$, $k_3=29,7\%$, $k_5=46\%$, $k_7=8\%$. Из приведенного анализа видно, что преобладающее значение имеет пятая гармоника.

На рис. 3г приведена осциллограмма выходного напряжения и тока в цепи для рабочей точки Д, т. е. когда делитель работает при больших значениях индукции и емкости конденсаторов в цепи. Гармонический анализ данных кривых показал, что для кривой напряжения $k_T=35\%$, $k_3=25\%$, $k_5=9\%$, $k_7=2,6\%$; для кривой тока $k_T=70\%$, $k_3=50\%$, $k_5=35\%$, $k_7=20\%$. Следовательно, здесь в основном преобладает третья гармоническая. Необходимо также отметить, что при значительных емкостях конденсаторов, т. е. там, где при увеличении ин-

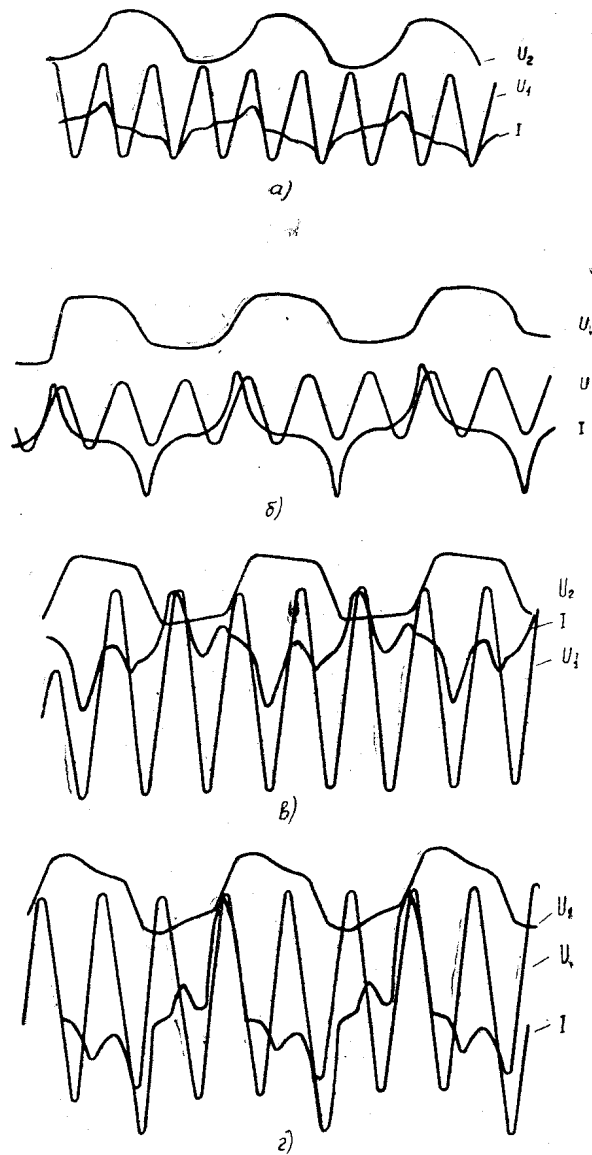


Рис. 3

дукции от минимального значения до максимального, рабочая точка не проходит через зону 1, форма кривой выходного напряжения изменяется незначительно. Форма кривой выходного напряжения здесь приближается к прямоугольной и при увеличении индукции несколько изменяется в основном за счет увеличения третьей гармонической.

Итак, проведенный анализ формы кривой выходного напряжения и тока в делителе дает возможность при проектировании его определить рабочую точку в пределах области существования колебаний, исходя из требований, предъявляемых к форме кривой выходного напряжения.

Выводы

1. При экспериментальном исследовании делителя установлено, что в пределах области существования колебаний форма кривой выходного напряжения и тока в цепи делителя изменяется в зависимости от индукции нелинейного элемента и величины емкости конденсаторов C .

2. В результате проведенного гармонического анализа кривых напряжения и тока в различных точках области установлены зоны с определенным процентным содержанием гармонических, по которым можно выбрать рабочую точку делителя с удовлетворительной формой кривой выходного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Артемьев. Ферромагнитный делитель частоты в три раза. Труды ГПИ им. А. А. Жданова. «Статические преобразователи в устройствах автоматики и элементы электрооборудования», том. XXIV, вып. 7, Горький, 1968.
 2. А. М. Бамдас, С. В. Шапиро, Л. Н. Давыдова. Ферромагнитные делители частоты. Изд-во «Энергия», 1967.
 3. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. М., «Высшая школа», 1967.
-