

К ВОПРОСУ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ СТАТИЧЕСКОГО УТРОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Я. В. ПЕТРОВ, А. И. ЗАЙЦЕВ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

В [1] установлено, что для получения трехфазного тока тройной частоты с помощью магнитно-насыщенных трансформаторов наиболее целесообразно применить шесть однофазных трансформаторов, объединенных в две трехфазные группы, и стабилизацию напряжения на зажимах двигателя выполнить с помощью продольной емкостной компенсации индуктивного сопротивления утроителя (рис. 1). Двухгрупповой утроитель имеет более компактную конструкцию и меньший расход активных материалов по сравнению с трехгрупповым утроителем (из девяти однофазных трансформаторов). Действительно, считая, что однофазные трансформаторы обоих утроителей геометрически подобны и потребляют из питающей сети одинаковую мощность для создания расчетной мощности тройной частоты S , согласно [2] получим отношение

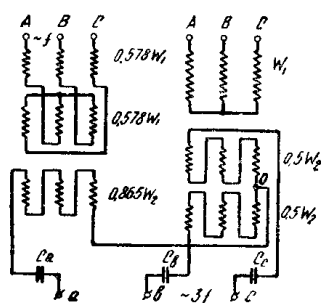


Рис. 1

весов активных материалов трех- и двухгруппового утроителей

$$\frac{G_{III}}{G_{II}} \approx 9 \sqrt[4]{\frac{S^3}{9^3}} : 6 \sqrt[4]{\frac{S^3}{6^3}} \approx 1,1.$$

Так же примерно относятся их потери мощности и стоимости активных материалов.

На выходе двухгруппового утроителя создается несимметричная трехлучевая звезда э. д. с. тройной частоты, поэтому подбор емкостей конденсаторов по фазам имеет некоторые особенности. Расчетная мощность тройной частоты при независимой работе обмоток ao и bc (без конденсаторов)

$$S = S_{ao} + S_{bc} = E_{ao} \cdot I_{ao} + E_{bc} \cdot I_{bc},$$

где E_{ao} , E_{bc} и I_{ao} , I_{bc} — соответствующие э. д. с. холостого хода и токи короткого замыкания.

Принимаем, что при связанной работе обмоток линейные э. д. с. холостого хода E_{ab} , E_{bc} , E_{ca} и фазные токи короткого замыкания

I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} образуют трехфазные симметричные системы (как токи трехфазной симметричной нагрузки, соединенной в треугольник, при $Z_H = 0$). По условию сохранения мощности при преобразовании числа фаз

$$S = E_{ab} \cdot I_{ab} + E_{bc} \cdot I_{bc} + E_{ca} \cdot I_{ca} = 3 E_{\Delta} \cdot I_{\Delta\phi}$$

Индуктивные сопротивления фаз треугольника

$$x_{ab} = x_{bc} = x_{ca} = \frac{E_{\Delta}}{I_{\Delta\phi}} = \frac{3 E_{\Delta}^2}{S}$$

То же эквивалентной симметричной звезды

$$x_a = x_b = x_c = x_3 = \frac{x_{ab}}{3} = \frac{E_{\Delta}^2}{S}$$

Нетрудно показать, что сопротивление x_3 связано с индуктивными сопротивлениями независимо нагруженных обмоток ao и bc соотношениями

$$x_3 = \frac{x_{ao}}{1,5} = \frac{x_{bc}}{2}$$

Сопротивление x_3 является расчетным. Сопротивление конденсаторов на фазу для установившегося режима работы двигателя выбирают $x_c = x_3$ или $x_c = x_3 + x_L$ (в последнем случае компенсируется также индуктивное сопротивление линии между утроителем и двигателем x_L , что обеспечивает повышенный уровень напряжения на зажимах двигателя).

Однако системы линейных э. д. с., а также линейных и фазных токов короткого замыкания в практических конструкциях двухгрупповых утроителей не могут быть строго симметричными, так как затруднительно получить угол сдвига между э. д. с. холостого хода тройной частоты, равным 90° , и схема Скотта, на основе которой выполняется здесь преобразование числа фаз, вносит дополнительную несимметрию напряжений и токов при нагрузке. При этом может оказаться, что включение одинаковых емкостей в цепь статора двигателя вызовет недопустимую асимметрию напряжений и токов. Симметрирование напряжений и токов может быть достигнуто подбором емкостей отдельных фаз, который рекомендуется выполнять в следующем порядке:

а) средняя емкость фазы

$$C = 1061 \frac{S}{E_{\Delta}^2} \text{ или } C = 1061 \frac{S}{E_{\Delta}^2 (1 - S \cdot x_L)} \text{ [}\mu\text{F]}.$$

причем

$$E_{\Delta} = \frac{E_{ao} + E_{bo} + E_{ca}}{3}$$

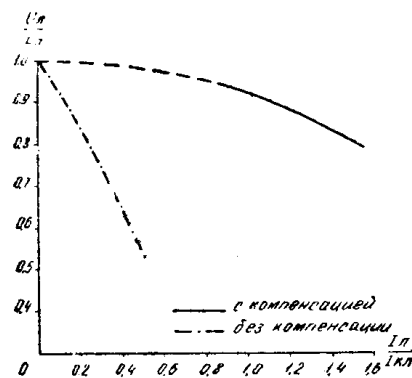


Рис. 2

б) средний линейный ток короткого замыкания утроителя

$$I_{кл} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3},$$

токи I_a, I_b, I_c измеряются амперметрами при трехфазном коротком замыкании утроителя;

в) емкость конденсаторов отдельных фаз

$$C_a \approx C \frac{I_a}{I_{кл}}, \quad C_b \approx C \frac{I_b}{I_{кл}}, \quad C_c \approx C \frac{I_c}{I_{кл}}.$$

В наших опытах с утроителем по схеме рис. 1 мощностью $S_H = 500$ ва системы линейных напряжений и токов оставались практически симметричными (степень асимметрии линейных напряжений не более 3%) при изменении нагрузки утроителя от холостого хода до номинальной и более, в диапазоне индукций основной гармоники $B_{1m} = 16000 \text{--} 20000$ гс (табл. 1), при этом емкости конденсаторов фаз принимались одинаковыми. Нагрузкой служили трехфазные асинхронные двигатели промышленной частоты и рудничное электросверло ВЧС—10 на 185 пер/сек.

Таблица 1

Токи (а) и напряжения (в) двигателя	$B_{1m} = 17200$ гс; $\cos \varphi_H = 0,45 \text{--} 0,6$						
	без компенсации			с компенсацией			
I_a	—	0,6	2,2	—	3,75	4,5	5,25
I_b	—	0,51	2,05	—	3,49	4,21	5,02
I_c	—	0,6	2,12	—	3,62	4,31	5,03
$U_{ав}$	133	120	71,5	133	127,8	121,5	117
$U_{ас}$	133,9	121,5	71,5	133,9	126,1	119,3	114,2
$U_{са}$	138	122,5	75	138	128,5	121,8	115,5

На рис. 2 по данным таблицы построены внешние характеристики утроителя в относительных единицах $\frac{U_{л}}{E_{л}} = f\left(\frac{I_{л}}{I_{кл}}\right)$ для средних значений величин.

Кривые рис. 2 показывают, что с помощью продольной емкостной компенсации могут быть получены достаточно жесткие внешние характеристики и значительно увеличена отдача мощности. Как показывают расчеты и эксперименты, при $x_c = x_3$ с увеличением коэффициента мощности нагрузки надающий наклон внешних характеристик увеличивается. Более жесткие внешние характеристики вплоть до восстающих достигаются перекомпенсацией индуктивного сопротивления утроителя $x_c > x_3$, но мощность батареи конденсаторов при этом возрастает и ток нагрузки в любом нормальном режиме двигателя должен быть менее

$$I_{\max} = \frac{E_{л}}{\sqrt{3} [(r_3 + r_{л}) \sin \varphi_H + (x_3 + x_{л} - x_c) \cos \varphi_H]}$$

во избежание неустойчивой работы утроителя (здесь r_3 и r_1 —активные сопротивления вторичных обмоток утроителя и линии утроитель—двигатель).

Заданное напряжение на зажимах двигателя $u_H = \frac{U_H}{E_L}$ будет получено, если сопротивление конденсаторов на фазу принять равным

$$x_c = x_3 + x_L + \frac{E_L}{\sqrt{3} I_H} \sin \varphi_H - \sqrt{\left(\frac{E_L}{\sqrt{3} I_H}\right)^2 (2 - u_H^2) - \left(\frac{E_L}{\sqrt{3} I_H} \cos \varphi_H + r_3 + r_1\right)^2}.$$

Указанные выше зависимости установлены в предположении, что схема замещения фазы утроителя на стороне 150 пер/сек может быть представлена источником э. д. с. $\frac{E_L}{\sqrt{3}}$ с внутренним линейным сопротивлением x_3 .

При переходных режимах работы двигателя (пуск; торможение моментом сопротивления, превосходящим максимальный момент двигателя) и продольной емкостной компенсации могут возникать в цепи утроитель—двигатель автоколебания, проявляющиеся в виде самовозбуждения и самораскачивания двигателя и субгармонических колебаний токов и напряжений типа биений. Двигатель „залипает“ на пусковой части механической характеристики. Автоколебания особенно часто наблюдались у нас в момент пуска или торможения асинхронных двигателей промышленной частоты, обладающих большим некомпенсированным индуктивным сопротивлением при частоте 150 пер/сек; электросверло ВЧС—10 не вызывало колебаний.

Эти нежелательные явления, отличающиеся достаточной сложностью, частично описаны в литературе и нуждаются в дальнейших исследованиях. Лучшим решением вопроса является получение установки с параметрами, исключающими возбуждение автоколебаний, так как любой из известных способов подавления появляющихся автоколебаний ведет, как правило, к значительному снижению эффективности продольной емкостной компенсации и заметно усложняет установку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. В. Петров, А. И. Зайцев. О схеме трехфазного ферромагнитного утроителя частоты, Известия Томского политехнического института, том 97, 1959.
2. Г. Н. Петров. Электрические машины, часть 1, Госэнергоиздат, 1956.
3. Л. Л. Рожанский. Статические электромагнитные преобразователи частоты, Госэнергоиздат, 1959.
4. М. С. Михайлов-Микulinский, П. М. Тихомиров. Утроители частоты для питания электродвигателей, М., 1958.