Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCIV, 1982 г.

УДК 621.313.323:621.314.63

# ТИРИСТОРНОЕ КОММУТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН

З.Б.СЛЕПЦОВА

В настоящее время все большее распространение получают методы определения параметров синхронных машин (СМ), основанные на опыте затухания постоянного тока в обмотках статора [4, 5]. Они позволяют с помощью несложных экспериментальных и расчетных операций получить значения индуктивностей всех обмоток. Опыт проводится на неподвижной машине по схеме (рис.I). На рис.I: УО – успокоительная обмотка; ОВ – обмотка возбуждения. Ротор СМ должен быть точно установлен в такое положение, при котором продольная ось обмотки ротора $d$ либо совмещена с осью одной из обмоток статора (положение „$d$"), либо расположена перпендикулярно к ней (положение „$q$").

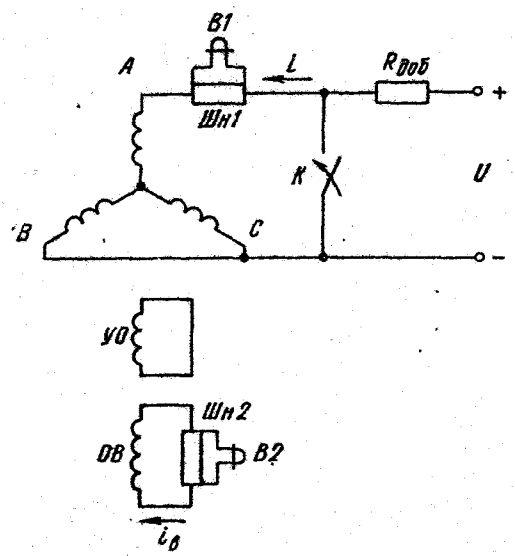



Рис.1. Схема опыта затухания постоянного тока в обмотках статора СМ

Для определения параметров машины используются осциллограммы переходных процессов $i(t)$ и $i_в(t)$ при замыкании рубильника К для двух указанных положений ротора. По этим кривым графическим путем определяют значения производных токов в начале переходного процесса и площади кривых токов за время его протекания. После этого по формулам, полученным на основании анализа дифференциальных уравнений СМ [5], можно рассчитать точные значения синхронных индуктивных сопротивлений по осям $d$ и $q$ ($x_d$ и $x_q$); индуктивного

сопротивления взаимоиндукции между обмотками статора и ротора по оси $d$ ($x_{ad}$) и сверхпереходных индуктивных сопротивлений по осям $d$ и $q$ ($x''_d$ и $x''_q$). Значения индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора ($x_{\sigma 1}$), индуктивного сопротивления взаимоиндукции по оси $q$ ($x_{aq}$) и индуктивного сопротивления эквивалентной успокоительной обмотки по оси $q$ ($x_{yq}$) вычисляются по известным формулам.

Индуктивное сопротивление обмотки возбуждения $x_f$ может быть получено после определения индуктивного сопротивления рассеяния эквивалентной успокоительной обмотки по продольной оси $x_{\sigma yd}$. Для этого повторяют опыт затухания постоянного тока в контуре статора при разомкнутой обмотке возбуждения. Осциллограммы изменения тока в контуре статора и э.д.с., наведенной в обмотке возбуждения, позволяют рассчитать по формулам, приведенным в работе [5], величины $x_{\sigma yd}$, $x_{yd}$ и $x_f$.

Одним из основных требований проведения эксперимента при точном определении параметров СМ является установка ротора машины в заданные положения „$d$" и „$q$". Для поворота роторов СМ мощностью более 500 кВт требуются специальные такелажные приспособления, причем точная установка ротора с их помощью требует длительной и кропотливой работы.

**М.М.Соколовым и В.Н.Грасевичем** [4] предложено использовать шаговый режим синхронного двигателя (СД) для установки его ротора в требуемое положение. Шаговый режим реализуется с помощью специальных схем питания статорной и роторной обмоток от источника постоянного тока. Предлагаемые принципиальные решения являются перспективными, так как позволяют уменьшить трудоемкость работ, повысить производительность труда и его безопасность.

На кафедре электрических машин и автоматизированного привода ЛПИ разработан и успешно прошел промышленные испытания тиристорный коммутатор (ТК) для шагового поворота и медленного вращения барабанов паровых мельниц с мощными СД при выполнении ремонтных и вспомогательных операций [I]. Упрощенный вариант такого ТК – с питанием от однофазной сети 50 Гц – может быть рекомендован для установки ротора СД в требуемые положения (рис.2).

При работе устройства в режиме шагового поворота рубильники (или другие коммутирующие элементы) Р1 и Р2 замкнуты, а рубильники Р3-Р5 и К разомкнуты. Статор СД подключен на выход ТК через силовые резисторы $R_{\phi 1}$-$R_{\phi 3}$, а обмотка возбуждения СД получает питание от источника постоянного напряжения. Резисторы $R_{\phi 1}$-$R_{\phi 3}$ улучшают одновременно динамические свойства привода и процессы естественной коммутации тока в фазах ТК. Кроме того, они облегчают согласование выходного напряжения ТК с номинальными параметрами СД.

На выходе ТК формируется трехфазная система двухполярных импульсов напряжения, составленных из полуволн фазного напряжения сети. Система управления ТК состоит из электромеханического индукционного распределителя импульсов ИР, автогенератора АГ и блока питания БП[x]. Распределитель импульсов [I] представляет собой индукционное **устройство с магнитной системой**

[x] Экспериментально установлено, что для получения максимальной расчетной величины напряжения на выходе ТК коэффициент пульсаций выходного напряжения БП должен быть не более 0,05.

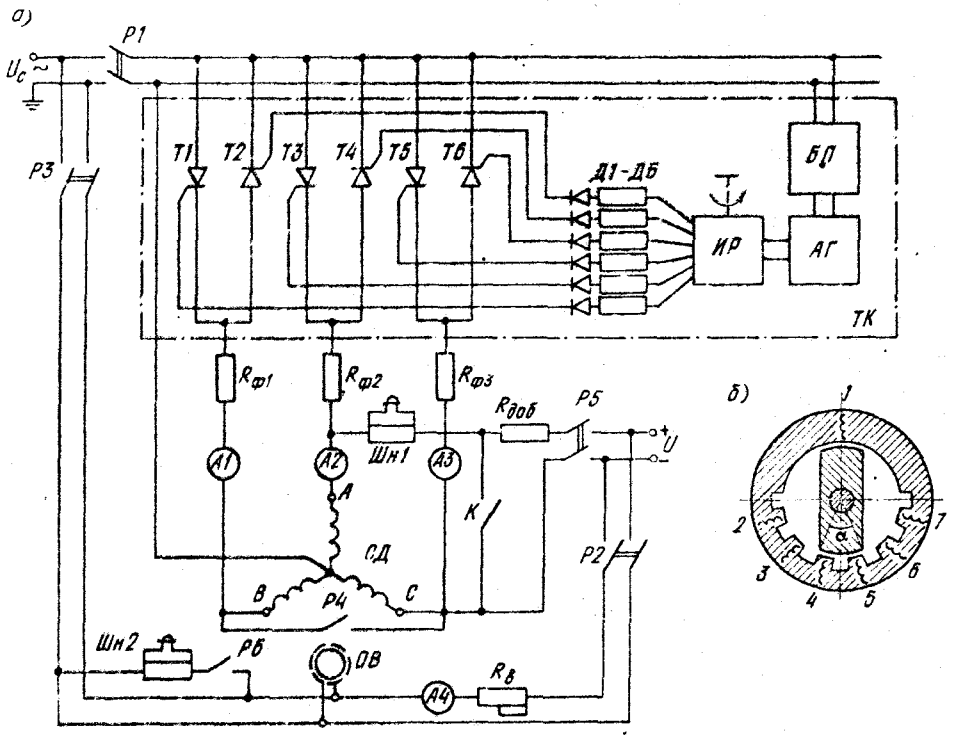



Рис.2. Принципиальная схема устройства для определения параметров СД (а) и индукционный распределитель импульсов (б)

электромашинного типа, состоящее из статора с одной первичной 1 и шестью вторичными 2-7 обмотками, а также безобмоточного двухполюсного ротора. Первичная обмотка ИР занимает одну полуокружность расточки статора, а на другой расположены шесть сосредоточенных вторичных обмоток - по числу тиристоров, при этом угол между осями вторичных обмоток составляет 30°. Первичная обмотка ИР получает питание от АГ с частотой 1000 Гц или выше. Поворот ротора ИР производится вручную.

При повороте ротора ИР изменяется магнитная проводимость промежутка между первичной и каждой из вторичных обмоток его статора. В результате на вторичных обмотках получается шесть одинаковых последовательностей пачек высокочастотных импульсов, сдвинутых между собой во времени на угол $\pi/3$ эл.радиан. Эти пачки импульсов после выпрямления диодными цепочками Д1-Д6 приводят к открытию тиристоров силовой схемы в требуемой последовательности.

Так как при работе устройства требуется получение двух положений ротора СД, сдвинутых между собой на 90 эл.град., то следует выбрать парную несимметричную 12-тактную коммутацию обмоток его статора (при нечетных тактах коммутации возбуждаются одновременно две обмотки статора СД, при четных - одна). Соответствующие электрические состояния СМ представлены на рис.3,а системой изображающих пространственных векторов напряжения стато-

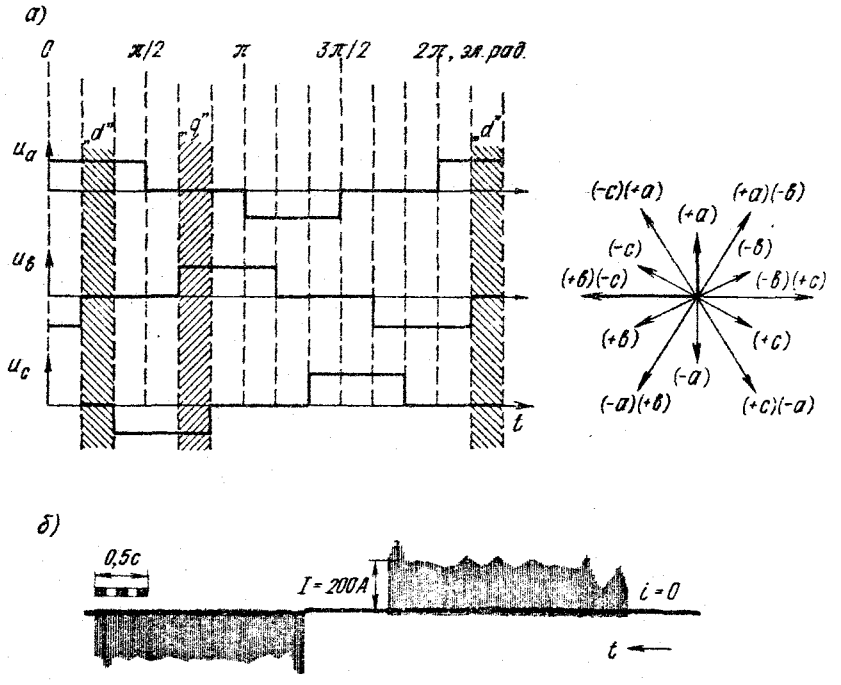



Рис.3. Циклограмма коммутации обмоток СД (а) и осциллограмма фазного тока ДС 260/44-36 при работе от ТК (б)

ра. Реализация заданной циклограммы обеспечивается выбором угловой ширины ротора ИР ( $\alpha$ на рис.2,б), равной $45^0$.

После отработки шага возбужденный ротор СД автоматически устанавливается в положение наибольшей магнитной связи с осью намагничивания статора. На рис.3, а штриховкой выделены электрические состояния, соответствующие установке ротора СД в положения „$d$" и „$q$", если опыт затухания постоянного тока будет производиться по схеме рис.I.

Точность установки ротора проверяется при всех разомкнутых рубильниках (см. рис.2), кроме Р3. При этом в обмотку возбуждения СД подается переменный ток и измеряется наведенное напряжение на фазных обмотках статора [4].

После проверки следует разомкнуть рубильник Р3 и замкнуть рубильники Р4, Р5 и Р6. Этим компонуется схема для проведения опыта затухания постоянного тока (см. рис.I). В качестве $R_{доб}$ можно также использовать один из силовых резисторов $R_{ф1} - R_{ф3}$.

Погрешность установки ротора в требуемое положение зависит от реактивного статического момента сопротивления (момента трения) на валу СИ. Для его исключения достаточно выбрать параметры шагового привода таким образом, чтобы каждый шаг отрабатывался после нескольких затухающих колебаний. В таком случае, по данным работы [4], желаемый результат обычно достигается не позже отработки третьего шага. Большое число колебаний неже-

лательно, так как это связано со значительным перерегулированием и увеличением времени успокоения ротора.

Из сказанного следует, что основным критерием для выбора режима работы шагового поворотного устройства является характер отработки единичного шага. Зависимость характера отработки единичного шага от обобщенных параметров шагового привода с СД при прямоугольных импульсах фазных напряжений была исследована на АВМ [3]. При нормализации уравнений была принята следующая система относительных единиц и обобщенных параметров.

Основные базисные величины:

1. Напряжение $U_\delta = (2/3)k_к U_п$, где $k_к = \sqrt{3}$ для случая одновременного возбуждения двух фаз статора, $k_к = 1$ для случая возбуждения одной фазы статора; $U_п$ - амплитуда прямоугольного импульса фазного напряжения.

2. Сопротивление $R_\delta = U_п / I$, где $I$ - установившееся значение тока в фазе статора.

3. Ток $I_\delta = U_\delta / R_\delta$.

4. Момент, равный амплитуде активной составляющей статического синхронизирующего момента $M_\delta = k_к p L_{ad}^{(н.п)} I_в$, где $p$ - число пар полюсов СД; $L_{ad}^{(н.н)}$ - взаимная индуктивность обмоток статора и возбуждения при совпадении их осей (неприведенное значение); $I_в$ - установившийся ток возбуждения СД (неприведенное значение).

5. Потокосцепление, равное амплитуде основной волны потокосцепления фазы с контуром возбуждения $\Psi_\delta = L_{ad}^{(н.к)} I_в$.

6. Частота $f_\delta = \omega_0$, где $\omega_0 = \sqrt{p M_\delta / J}$ - круговая частота собственных колебаний ротора двигателя; $J$ - момент инерции агрегата.

7. Время $T_\delta = 1/\omega_0$.

Обобщенные параметры:

1. Коэффициент внутреннего демпфирования

$$\rho = \omega_0 \frac{\Psi_\delta}{U_\delta} = \frac{2\omega_0 M_\delta}{3 p I_\delta^2 R_\delta}.$$

2. Нормализованная постоянная времени по продольной оси $\varkappa_d = \omega_0 \frac{L_d}{R_\delta}$, где $L_d$ - синхронная индуктивность СД по продольной оси.

3. Относительный момент нагрузки $\mu = M_c / M_\delta$, где $M_c$ - статический момент сопротивления. В рассматриваемом случае $\mu$ близко к нулю и на характер отработки шага не влияет.

Для предложенного устройства следует рекомендовать область обобщенных параметров $\rho$ и $\varkappa_d$, в которой время успокоения ротора равно $(2 \div 3)T_0$, где $T_0 \approx 2\pi/\omega_0$ - период колебаний:

| $\rho$ | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\varkappa_d$ | 0,25-0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,0-2,5 |

Предварительная оценка для СД мощностью 600-2500 кВт показала, что при питании устройства напряжением 220 В, 50 Гц такие сочетания параметров легко могут быть получены при $I \approx (0,3 \div 0,5) I_н$, $I_в \approx (0,3 \div 0,5) I_{вн}$, где $I_н$, $I_{вн}$ - номинальные токи статора и возбуждения.

При отсутствии данных, необходимых для расчета, настройка качества отработки шага может быть выполнена экспериментально вариациями $I$ и $I_в$. При этом следует иметь в виду, что уменьшение $I$ в 2 раза приводит к уменьшению $\beta$ в I,4 раза и $\varkappa_d$ в 2,8 раза. При уменьшении $I_в$ в 2 раза $\beta$ уменьшается в 2,8 раза, а $\varkappa_d$ – в I,4 раза.

Исходные данные для расчета: $I_н$, $I_{вн}$, $\rho$, $J$, $L_{ad}^{(н.п)}$, $L_d$, $U_п'$ ($U_п'$ – амплитуда эквивалентного прямоугольного импульса фазного напряжения ТК).

Для использованной однополупериодной схемы выпрямления $U_п' = 0{,}45U_c$ ($U_c$ – действующее значение фазного напряжения сети).

Приближенные значения $L_{ad}^{(н.п)}$ и $L_d$ могут быть легко рассчитаны практическим способом [2] по характеристикам холостого хода и короткого замыкания.

Расчет режима работы поворотного устройства сводится к вычислению обобщенных параметров $\beta$ и $\varkappa_d$ с проверкой их нахождения в рекомендуемой области. Такой расчет удобно выполнять методом последовательных приближений, задаваясь значениями $I$ и $I_в$.

Следует иметь в виду, что $\beta$ и $\varkappa_d$ будут различными для нечетных и четных шагов из-за различия значений коэффициента $k_к$ при возбуждении одной или двух фаз обмотки статора. При этом $\beta_1 = 0{,}76\beta_2$ и $\varkappa_{d1} = I{,}3I\varkappa_{d2}$ (индекс 1 относится к нечетным шагам, 2 – к четным). Желательно, чтобы для всех шагов сочетания $\beta$ и $\varkappa_d$ лежали в заданной области. Однако, если этого трудно достигнуть, можно при установке ротора в положение „$d$" настраивать параметры $\beta_2$, $\varkappa_{d2}$, а при установке в положение „$q$" – $\beta_1$, $\varkappa_{d1}$.

Натурные испытания ТК с двигателями ДС мощностью 1100 кВт и расчеты на ЦВМ для ряда машин типа СДН мощностью 600–2500 кВт показали, что в целесообразном диапазоне параметров силовой схемы обеспечивается надежная естественная коммутация тока в фазах ТК. На рис.3, б приведена осциллограмма фазного тока при повороте двигателя ДС 260/44–36 по схеме рис.2.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 498959 (СССР). Устройство для поворота барабана шаровой мельницы / З.Б.Слепцова, И.М.Столяров, К.А.Ананьев, А.В.Смирнов. Б.и., 1976, № 2.

2. Павлюк К., Беднарек С. Пуск и асинхронные режимы синхронных двигателей. М., Энергия, 1971.

3. Слепцова З.Б., Столяров И.М. Исследование шаговых приводов шаровых мельниц. – Известия вузов, Горный журнал, 1981, № 4.

4. Соколов М.М., Грасевич В.Н. Шаговый поворот машин переменного тока при определении их параметров. – Электротехническая промышленность, серия „Электропривод", 1974, вып.7 (33).

5. Соколов М.М., Масандилов Л.Б., Грасевич В.Н. Экспериментальное определение параметров синхронных двигателей. – Труды МЭИ, 1972, вып.149.