

**ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ В СХЕМЕ ОДНОФАЗНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ С КОНДЕНСАТОРОМ**

**БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

Выпуск 611

**Основанае *1359 году***

**Н. Д.ТОРОПЦЕВ**

**ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ В СХЕМЕ ОДНОФАЗНОГО**

**ВКЛЮЧЕНИЯ**

**С КОНДЕНСАТОРОМ**

**4-е издание, переработанное и дополненное**

МОСКВА

ЗНЕРГ0АТ0МИЗДАТ 1988

ББК 31.261.63

Т 61

УДК 621.313.333.1

Редакционная коллегия серии:

1. Н. Андриевский, С, А. Бажанов, Л. Б. Годгельф, В. X. Иш- кин, Д. Т. Комаров, В. П. Ларионов, Э.' С. Мусаэлян,
2. П. Розанов, В. А, Семенов, А. Д, Смирнов, А, Н. Трифонов, А. А. Филатов

Рецензент докт. техн, наук, дроф, И, П, Копылов

Торопцев Н. Д.

**Т 61** Трехфазный асинхронный двигатель в схеме од­нофазного включения с конденсатором. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988.— 95 с.: ил.— (Б-ка электромонтера; Вып. 611).

ISBN 5-283-01052-Х

Рассмотрены особенности применения трехфазного асин­хронного двигателя в качестве конденсаторного и различные схемы включения. Даны соотношения для определения рабо­чей емкости конденсатора. Четвертое издание дополнено ма­териалами по использованию конденсаторного двигателя с тре­мя статорными обмотками в качестве преобразователя фаз.

Для электромонтеров и электромехаников.

**„ 2302030000-283**

**Т 139-88**

**051(01)-88**

**ББК 31.261.63**

ISBN 5-283-01052-Х

© Издательство «Энергия», 1979 © Энергоатомиздат, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Основные направления экономического и социаль­ного развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», принятые XXVII съездом КПСС, предусмат­ривают довести производство электроэнергии к 1990 г. до 1840—1880 млрд. кВт-ч; 75 % ее будет преобразова­но электрическими двигателями в механическую энер­гию.

В настоящее время самыми распространенными элек­трическими двигателями в народном хозяйстве являются трехфазные асинхронные двигатели, которые в ряде слу­чаев могут быть успешно использованы для работы от сети однофазного тока.

Четвертое издание книги «Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденса­тором», переработанное и дополненное, выходит в свет через 9 лет после третьего. За это время электротехни­ческой промышленностью освоен выпуск новой унифи­цированной серии асинхронных двигателей АИ и конден­саторов с улучшенными массогабаритными показателя­ми, изменились требования ГОСТ. Вследствие этого в новом издании переработаны практически все табли­цы, содержащие справочные материалы по двигателям и конденсаторам, а также ряд других. Кроме того, на­стоящее издание дополнено разделом, в котором рас­смотрены вопросы использования трехфазного асин­хронного двигателя для преобразования однофазного напряжения в трехфазное.

Автор выражает глубокую благодарность рецензен­ту — заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, доктору техн, наук, проф. *И.* П. Копылову, а также ре­дактору— канд. техн, наук, доц. В. М. Киселеву за цен­ные замечания, сделанные ими по рукописи.

Все пожелания автор просит посылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатом- издат.

*Автор*

1. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Широкое распространение в различных отраслях на­родного хозяйства получили асинхронные двигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. Они не имеют скользящих контактов, просты по устройству и обслуживанию Двигатель с короткозамкнутым рото­ром в разобранном виде показан на рис. 1 Основными его частями являются статор и ротор. Сердечники ста­тора и ротора набирают из листов электротехнической стали.

В пазах сердечника статора укладывают и закрепля­ют трехфазную обмотку В зависимости от напряжения питающей сети и данных двигателя ее соединяют звез­дой или треугольником. Выводы обмоток статора марки­руют, благодаря этому облегчается сборка нужной схе­мы соединения.

В соответствии с ГОСТ 183—74'\*\* приняты следующие обозначения выводов обмоток отдельных фаз соответст­венно начало и конец первой фазы *С1* и *С4,* второй — *С2* и *С5* и третьей — *СЗ* и *С6* (рис 2). Расположение выводов на коробке контактных зажимов двигателя дол­жно удовлетворять требованию простоты соединения об­моток по любой схеме Обмотку ротора от его сердечни­ка не изолируют. Ее вместе с вентиляционными лопат­ками выполняют литой из алюминия или его сплавов. Стержни обмотки и накоротко замыкающие их кольца образуют так называемую беличью клетку.

Конструктивное выполнение двигателей зависит от способа вентиляции и степени защиты.

Асинхронные короткозамкнутые двигатели единой се­рии 4А по способу охлаждения и степени защиты пер­сонала от соприкосновения с токоведущими или враща­ющимися частями, а также самой машины от попадания в нее посторонних тел имеют два исполнения (ГОСТ 14254—80): закрытое обдуваемое (обозначение IP44), защищенное (обозначение IP23).

Двигатели исполнения IP44 имеют аксиальную систе­му вентиляции. Воздух подается вентилятором и обду­вает внешнюю оребренную поверхность станины.

Для двигателей IP23 характерна двусторонняя ради­альная система вентиляции, которая осуществляется при помощи вентиляционных лопаток, расположенных на короткозамыкающих кольцах ротора



Рис. 1 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разо­бранном виде



/ — статор, 2 —клеммная коробка, ***3*** — ротор ***4 —*** подшипниковые щиты, ***5 —*** вентилятор, ***6*** — кожух вентилятора

Двигатели этой серии имеют следующую структуру обозначений: 4 — порядковый номер серии; А — наиме­нование вида двигателя — асинхронный; А — станина и щиты из алюминия; X — станина из алюминия и чу­гунные щиты; 56—355 — высота оси вращения; S, L, М — установочные размеры по длине корпуса; А, В — обозначение длины сердечника (первая длина — А, вто­рая— В); 2, 4, 6, 8, 10, 12 — число полюсов; У — кди-

Рис 2 Расположение выводов на щитке двигателя при соединении: ***а —*** звездой; б — треугольником

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Номинальная мощность, кВт | кпд, % | cos ф |
| 4А50А2УЗ | «1=3000 об/мин0,09 | 60 | 0,7 |
| 4А50В2УЗ | 0,12 | 63 | 0,7 |
| 4АА56А2УЗ | 0,18 | 66 | 0,76 |
| 4АА56В2УЗ | 0,25 | 68 | 0,77 |
| 4АА63А2УЗ | 0,37 | 70 | 0,86 |
| 4АА63В2УЗ | 0,56 | 73 | 0,86 |
| 4А71А2УЗ | 0,75 | 77 | 0,87 |
| 4АХ71А2УЗ4А71В2УЗ | 1,1 | 77,5 | 0,87 |
| 4АХ71В2УЗ 4А80А2УЗ | 1,5 | 81 | 0,85 |
| 4АХ80А2УЗ 4А80В2УЗ | 2,2 | 83 | 0,87 |
| 4АХ80В2УЗ 4А902УЗ | 3 | 84,5 | 0,88 |
| 4АХ902УЗ4А50А4УЗ | «1 = 1500 об/мин0,06 | 50 | 0,6 |
| 4А50В4УЗ | 0,09 | 55 | 0,6 |
| 4АА56А4УЗ | 0,12 | 63 | 0,66 |
| 4АА56В4УЗ | 0,18 | 64 | 0,64 |
| 4АА63А4УЗ | 0,25 | 68 | 0,65 |
| 4АА63В4УЗ | 0,37 | 68 | 0,69 |
| 4А71В4УЗ | 0,55 | 70,5 | 0,7 |
| 4АХ71А4УЗ4А71В4УЗ | 0,75 | 72 | 0,73 |
| 4АХ71А4УЗ 4А80А4УЗ | 1,1 | 75 | 0,81 |
| 4АХ80А4УЗ 4А80В4УЗ | 1,5 | 77 | 0,83 |
| 4АХ80А4УЗ 4А904УЗ | 2,2 | 80 | 0,83 |
| 4АХ904УЗ4А1004УЗ | 3 | 82 | 0,83 |

«1 = 1000 об/мин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 4АА63А6УЗ | 0,18 | 56 | 0,62 |
| 4АА63В6УЗ | 0,25 | 59 | 0,62 |
| 4А716УЗ4АХ71А6УЗ | 0,37 | 64,5 | 0,69 |
| 4А71В6УЗ4АХ71В6УЗ | 0,55 | 67,5 | 0,71 |

*Продолжение табл.* ***1***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Номин альная мощность, кВт | КПД, % | COS ф |
| 4А80А6УЗ 4АХ80А6УЗ | 0,75 | 69 | 0,74 |
| 4А80В6УЗ 4АХ80В6УЗ | 1,1 | 74 | 0,74 |
| 4А906УЗ4АХ906УЗ | 1,5 | 75 | 0,74 |
| 4А1006УЗ | 2,2 | 81 | 0,74 |
| 4А112МА6УЗ | 3 | 81 | 0,76 |

магическое исполнение двигателей; 3 — категория раз­мещения. Например: 4АА56А2УЗ — электродвигатель се­рии *4,* асинхронный, закрытого исполнения, станина и подшипниковые щиты из алюминия, с высотой оси вра­щения 56 мм, сердечник первой длины, двухполюсный, для районов умеренного климата, категории размеще­ния 3.

Основные технические данные двигателей небольшой мощности серии 4А приведены в табл. 1.

Странами — членами СЭВ разработана и выпускает­ся единая серия асинхронных двигателей АИ. Улучше­ние энергетических, пусковых и виброшумовых характе­ристик машин этой серии достигается за счет примене­ния новых материалов и конструктивных решений.

Основные технические данные двигателей небольшой мощности серии АИ приведены в табл. 2.

Трехфазный ток, проходя по обмоткам статора, соз­дает вращающееся магнитное поле. Частота вращения поля «I называется синхронной. Она зависит от час­тоты fi питающего напряжения и числа пар полюсов *р* машины: и при fi = 50 Гц принимает значения: 3000 об/мин (р= = 1), 1500 об/мин (р = 2), 1000 об/мин (р = 3) и т. д.

Для частоты напряжения сети будем иметь:

f \_ P«i

1 60 ’

Ротор асинхронного двигателя, вращаясь в направ­лении вращения поля, развивает частоту, несколько

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Номинальная мощность, *кВт* | Синхронная частота вращения, об/мин | кпд, % | COS Ф |
| АИР71А2 | *0,75* | 3000 | 78,5 | 0,83 |
| АИР71В2 | 1,1 |  | 79 | 0,83 |
| АИР80А2 | 1,5 |  | 81 | 0,85 |
| АИР80В2 | 2,2 |  | *83* | 0,87 |
| AI4P90L2 | 3 |  | 84,5 | 0,88 |
| АИР71А4 | 0,55 | 1500 | 70,5 | 0,7 |
| АИР71В4 | 0,76 |  | 73 | 0,73 |
| АИР80А4 | 1,1 |  | 75 | 0,81 |
| АИР80В4 | 1,5 |  | 78 | 0,83 |
| АИР901.4 | 2,2 |  | 81 | 0,83 |
| AHP100S4 | 3 |  | 82 | 0,83 |
| АИР71А6 | 0,37 | 1000 | 65 | 0,66 |
| АИР71В6 | 0,55 |  | 68,5 | 0,70 |
| АИР80А6 | 0,75 |  | 70 | 0,72 |
| АИР80В6 | 1,1 |  | 74 | 0,74 |
| AMP90L6 | 1,5 |  | 76 | 0,72 |
| AHP100L6 | 2,2 |  | 81 | 0,74 |
| АИР80А2-ОМ2 | 1,5 | 3000 | 81 | 0,85 |
| АИР80В2-ОМ2 | 2,2 |  | 83 | 0,87 |
| АИР80А4-ОМ2 | 1,1 | 1500 | 75 | 0,81 |
| АИР80В4-ОМ2 | 1,5 |  | 78 | 0,83 |
| АИР80А6-ОМ2 | 0,75 | 1000 | 70 | 0,72 |
| АИР80В6-ОМ2 | 1,1 |  | 74 | 0,74 |
| АИИ905А2 | 0,75 | 3000 | 77 | 0,8 |
| AHH90SB2 | 1,1 |  | 79 | 0,82 |
| АИИ905В4 | 0,75 | 1500 | 78 | 0,8 |
| АИИ905В6 | 0,55 | 1000 | 76 | 0,68 |
| АИИ10056 | 0,75 | 1000 | 78 | 0,73 |
| АИИ11254 | 2,2 | 1500 | 84,5 | 0,84 |
| АИИ11256 | 1,1 | 1000 | 82 | 0,76 |

меньшую, чем синхронная, называемую асинхрон­ной. Отставание ротора характеризуется скольже­нием *s.* Если частоту вращения ротора обозначить че­рез *пч,* то соотношение для скольжения примет вид

(2)

или, %,

8 = 100.

Из (2) следует, что скольжение асинхронного двига

теля изменяется от единицы (при пуске, когда Пг=0) до нуля (при синхронной частоте вращения, т. е. когда *п2 — п1).* Заметим, что точного равенства частоты враще­ния поля и ротора в двигательном режиме не достигает­ся. Однако отставание ротора на холостом ходу машины так мало, что им можно пренебречь. Значения скольже­ний при полной нагрузке двигателя обычно составляют 4-6 %.

Выражение для частоты вращения ротора можно по­лучить из соотношения (2):

п2 = «х(1 — S)

или

***п2 =*** —U- (1 — $).
***D***

Заметим, что числитель правой части равенства (2) имеет определенный физический смысл. Разность часто­ты вращения поля и ротора представляет собой относи­тельную частоту вращения, т. е. частоту вращения поля относительно ротора *ns,* или частоту скольжения.

Пример. Известны «1=1000 об/мин, 3=4%. Вычислить частоту вращения ротора и относительную частоту вращения.

Имеем: пэ—1000(1—0,04)=960 об/мии, ***Пз—П{—***и2=1000—960 = =40 об/мин.

Частота ЭДС и токов, наводимых в обмотке ротора вращающимся магнитным полем, определяется частотой скольжения:

60 ' ’

Путем несложных преобразований это выражение приводится к виду

***г „ P(ni —*** «1 щ щ ,

/ „ • -- /1 О

60 ***и,*** 60 ***nt***

т. е. частота ЭДС и токов ротора при условии Д = сопз1 пропорциональна скольжению.

Пример. Найти частоту тока ротора для предыдущего примера. Имеем' b=fiS = 50-0,04 = 2 Гц.

Развиваемая двигателем мощность в пределах нор­мальных нагрузок пропорциональна скольжению. По­этому о нагрузке машины можно судить по скольжению.

Использование мощности двигателя в процессе его эксплуатации может быть различным. Коэффициент ис­пользования мощности

/ги = Р2/Рном, (3)

где Рг — полезная мощность при произвольной нагрузке; Рном — номинальная мощность, т. е. полезная мощ­ность, на которую рассчитана электрическая машина.

Номинальной мощности соответствует номинальное напряжение. Двигатель потребляет при этом номиналь­ный ток, имея номинальные значения частоты вращения, мощности на валу, КПД и cos ф.

Назначение двигателя состоит в преобразовании электрической энергии в механическую. В процессе пре­образования возникают потери. Они представляют ту часть активной мощности, которая расходуется на на­гревание обмоток, стали сердечника статора и преодо­ление сил трения.

Отношение полезной мощности Р2, развиваемой дви­гателем на валу, к активной мощности Pi, потребляе­мой им из сети, называется коэффициентом по­лезного действия:

и = /УЛ- (4)

Кроме активной, двигатель потребляет реактивную намагничивающую мощность, необходимую для образо­вания магнитного потока. Таким образом, полная мощ­ность двигателя S состоит из активной и реактивной со­ставляющих:

S=]/P| + Q2,

(5)

где *Q —* реактивная мощность двигателя.

Об относительном значении преобразованной мощ­ности судят по коэффициенту мощности. Чем лучше ис­пользуется мощность машины, тем выше коэффициент мощности. Для его вычисления достаточно активную мощность *Pt* разделить на полную:

*Р Р*

(6)

**COS ф = —- = —— ,**

\* S *3UI*

где *U, I —* фазные значения напряжения и тока.

Пример. На щитке трехфазного асинхронного двигателя с корот­козамкнутым ротором имеются следующие обозначения: Д/А> 220/ 380 В, 10,5/6,1 А, 2,8 кВт, 50 Гц, 2880 об/мин, КПД=81,5%, cos<p = = 0,86.

Из рассмотрения этих данных заключаем: номинальное напряже­ние фазы 220 В, номинальный фазный ток 6,1 А, полезная мощность Р2=2,8 кВт, число пар полюсов р=1. Так как синхронная частота вращения

60fi

*Р*

(в данном случае она равна 3000 об/мин), то скольжение при номи­нальной нагрузке составит:

3000 — 2880

®НОМ= 3000 100 = 4%.

Полная мощность двигателя при номинальной нагрузке

^ном ~ 3//ном *I*ном ~ 3-220-6,1 а; 4000 В-А = 4 кВ - А.

Активная мощность, потребляемая двигателем при номинальной нагрузке,

^ihom — З^ном /ном055Тном = 3-220-6,1 -0,86 = 3,44 кВт.

Потери в двигателе при номинальной нагрузке

2АВН0М = Р1ном Р2==3,44 2,8 = 0,64 кВт.

С использованием данных табл. 1 построены кривые зависимости коэффициента мощности двигателей от их номинальной мощности (рис. 3).

Кривая *1* соответствует синхронной частоте враще­ния 3000 об/мин, *2—* 1500 об/мин и *3—* 1000 об/мин. Из рис. 3 видно, что коэффициент мощности асинхрон­ного двигателя зависит от номинальной мощности и син­хронной частоты вращения,

С увеличением мощности при постоянстве синхрон­ной частоты вращения («i = const) уменьшается относи­тельное значение воздушного зазора. Благодаря этому относительная реактивная намагничивающая мощность также уменьшается, а коэффициент мощности возрас­тает. К такому же результату приводит увеличение син­хронной частоты вращения при постоянстве номиналь­ной мощности двигателя. Скоростные машины имеют меньшие габариты, что обусловлено уменьшением вра­щающего момента, у них существенно уменьшается объем воздушного пространства между сердечниками статора и ротора.

Кривые зависимости удельной намагничивающеймощности двигателей от номинальной при *п\ —* const показаны на рис. 4, откуда видно, что удельная намаг­ничивающая мощность тем меньше, чем больше номи­нальная мощность двигателя и выше синхронная часто­та вращения.

7 — ^ = 3000 об/мин; ***2 —*** /?1ю1500 об/ /мин; 3 — = 1000 об/мин

Рис. 4. Кривые зависимости удель­ной намагничивающей мощности от номинальной мощности асинх­ронных двигателей при различных значениях синхронной частоты вращения:

/ — и^ЮОО об/мин; 2— «1“1500 об/мин;

3 —П1 = 3000 об/мин

Рис. 3 Кривые зависимости коэффициента мощности от номинальной мощности асинх­ронных двигателей при различ­ных значениях синхронной час­тоты вращения:

Переход от зависимостей, приведенных на рис. 3, к зависимостям на рис. 4 производят с использованием следующих соотношений:

*р — Рном .* /7,

**Г11ПМ , V )**

**Ли ом**

**Сном COS2 фи ом > (-\*)**

где Shom, Qhom — полная и реактивная мощности двига­теля при номинальной нагрузке.

Из сопоставления рис. 3 и 4 нетрудно сделать заключение о влиянии коэффициента мощности на энерге­тические показатели двигателей и питающей их систе­мы: у двигателей с повышенным коэффициентом мощно­сти при данной номинальной нагрузке *(Р2=Рном)* реак­тивная намагничивающая мощность меньше. Это приводит к уменьшению полной мощности и, соответст­венно, к уменьшению тока, потребляемого из сети. В ре­зультате электрические потери в обмотках машины уменьшаются и ограничивается падение напряжения в проводах системы электроснабжения.

1. РАБОТА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ СЕТИ ОДНОФАЗНОГО ТОКА. СПОСОБЫ ПУСКА

Трехфазный асинхронный двигатель нормального ис­полнения может создавать вращающий момент без при­нятия специальных мер при питании от сети однофазно­го тока.

Предположим, что цепь одного из проводов работа­ющего двигателя, присоединенного к трехфазной сети, разомкнулась (например, вследствие перегорания плав­кой вставки предохранителя). Машина, оказавшаяся в однофазном режиме с последовательным или последо­вательно-параллельным соединением обмоток статора (рис. 5), будет продолжать вращаться, преодолевая мо­мент сопротивления нагрузки. В первом случае одна фа-

а — звездой; ***б —*** треугольником

Рис. 5. Однофазное включение асинхронного двигателя при соединении:

Рис. 6 Разложение пульсирую­щего магнитного поля на два вращающихся *(1* и 2) за полностью теряет питание, во втором происходит уменьшение напряжения на каждой из двух фаз, соеди­ненных последовательно. Частота вращения двигателя при этом в обоих случаях снижается, а скольжение уве­личивается.

Увеличение скольжения при неизменной нагрузке на валу сопровождается значительным возрастанием тока. Для предупреждения чрезмерного перегрева обмоток необходимо снизить нагрузку двигателя до 50—60 % номинальной. Остановив трехфазный двигатель, работа­ющий в однофазном режиме, легко убедиться в том, что пустить его в ход непосредственно включением в сеть однофазного тока невозможно. Вращающий момент при пуске оказывается равным нулю. Это обусловлено ха­рактером магнитного поля статора, которое в однофаз­ном режиме является пульсирующим.

Пульсирующее поле может быть представлено в ви­де двух полей, вращающихся с одной и той же синхрон­ной частотой в противоположные стороны. Наибольшее значение (амплитуда) каждого из них равно половине амплитуды пульсирующего поля. Разложение пульсиру­ющего поля и его изменение во времени иллюстрируют­ся простым графическим построением (рис. 6) с допу­щением, что обмотка, по которой проходит ток (показан­ная в виде одного витка), создает в воздушном зазоре машины синусоидально распределенное магнитное поле (сплошная линия). Каждое из вращающихся полей (пунктирные линии *1* и *2)* наводит в обмотке ротора ЭДС, под влиянием которых возникают токи. Взаимо­действие вращающихся полей с токами ротора приво­дит к образованию вращающихся моментов, направлен­ных в противоположные стороны. Неподвижный ротор по отношению к этим полям находится в одинаковых условиях, поэтому вращающие моменты полностью урав­новешивают друг друга, этим и объясняется то обстоя­тельство, что трехфазный двигатель в однофазном режи­ме не имеет начального (пускового) момента.

Прямое поле, т. е. поле, направление вращения кото­рого совпадает с направлением вращения ротора, наво­дит в его обмотке токи небольшой частоты (2—3 Гц при частоте напряжения сети 50 Гц). Обозначим мо­мент, обусловленный прямым полем, через Л1]. Встреч­ному (обратному) полю соответствует тормозной мо­мент Л12. Токи, индуктированные в обмотке роторавстречным полем, при малых значениях скольжения имеют повышенную частоту (около 100 Гц) и, стано­вясь поэтому почти чисто реактивными, оказывают раз­магничивающее действие. Ослабление встречного поля вызывает уменьшение тормозного момента М2.

Скольжение ротора по отношению к обратному по­лю равно

\_ rtt — П3) \_ п1 + л1(1—S) \_?

йобр — л а.

По этой причине токи ротора, наведенные обратным полем, имеют повышенную частоту

/2==А(2-5).

Каждое из вращающихся магнитных полей (прямое и обратное) является круговым. Пространственный век­тор магнитодвижущей силы (МДС) кругового поля вра­щается с равномерной скоростью (rti=const), причем конец вектора перемещается по окружности. Диаграммы прямого и обратного магнитных полей с МДС *F\* и *F%* показаны на рис. 7, *а, б.*

Результирующее магнитное поле, обусловленное ре­зультирующей МДС *F,* становится эллиптическим: ко­нец вектора *F* при вращении описывает эллипс. Для эллиптического поля характерно непостоянство мгно­венной скорости вращения пространственного вектора результирующей МДС и, соответственно, магнитного поля машины. Это обстоятельство может стать причи­ной возникновения вибраций, особенно при малых мо­ментах инерции ротора.



Рис. 7. Диаграммы вращающихся магнитных полей:

а —прямого кругового; ***б*** — обратного кругового; ***в*** — эллиптического

Построение диаграммы вращающейся МДС эллип­тического поля приведено на рис. 7, *в.* Большая и малая оси эллипса находятся по соотношениям

o = 2(Fi + F2); 6 = 2^ —А).

Таким образом, эллиптическое поле можно рассмат­ривать как результат наложения двух круговых по­лей — прямого и обратного.

Результирующий момент однофазного двигателя ра­вен разности моментов от прямого и обратного полей:

/И-Д-Д. (10)

Наличие тормозного момента приводит к ухудшению характеристик двигателя в однофазном режиме: по срав­нению с трехфазным двигатель имеет меньшие КПД и коэффициент мощности.

Уменьшение КПД связано с возрастанием потерь, обусловленных появлением обратного поля. Снижение коэффициента мощности объясняется увеличением на­магничивающего тока.

Как уже отмечалось, существенным недостатком трехфазного двигателя при однофазном включении яв­ляется отсутствие пускового момента. Двигатели малой мощности можно пустить в ход «от руки», но этот спо­соб неприменим для более мощных приводов. Поэтому задача непосредственного пуска трехфазного двигателя от однофазной сети имеет важное значение. Одно из возможных ее решений рассматривается в настоящей книге. Идея его состоит в образовании в воздушном за­зоре машины вращающегося магнитного поля — эллип­тического или кругового.

В эллиптическом поле кроме вращающего момента ЛД возникает тормозной момент М2. В круговом поле тормозной момент отсутствует.

Для получения кругового вращающегося поля дол­жны быть соблюдены определенные условия. При двух статорных обмотках магнитное поле становится круго­вым, если их МДС, равные по значению, сдвинуты в пространстве на 90° (электрических) и во времени. Заметим, что под МДС понимают произведение тока обмотки на число ее витков (эффективных). Ось МДС всегда совпадает с осью обмотки.

Рассмотрим схему включения трехфазного двигате­ля в однофазную сеть (рис. *8, а).* Одна обмотка статора образована фазой *С1—С4,* другая состоит из двух по­следовательно соединенных фаз: *С2—С5, СЗ—С6.* На­зовем первую обмотку пусковой, а вторую рабочей, или главной. Стрелками /—*3* (рис. 8, б) для некоторого мо­мента времени условно показаны направления и значе­ния пульсирующих МДС отдельных фаз двигателя. Ось МДС главной обмотки (стрелка *4)* находят по правилу параллелограмма (рис. 8, *в).* Дак видно, ось МДС глав-



Рис. 8. Образование пространственного угла сдвига между осями главной и пусковой обмоток однофазного двигателя

ной фазы оказывается сдвинутой относительно осей МДС статорных обмоток *С2—С5, СЗ—С6* на 30 °. При этом между осями МДС главной и пусковой обмоток создается пространственный сдвиг, равный 90°. При соединении обмоток двигателя треугольником получает­ся тот же результат.

Для получения сдвига МДС, создаваемых токами об­моток во времени, в цепь пусковой обмотки включают активное сопротивление, индуктивное сопротивление или конденсатор. В первом и втором случаях создается эллиптическое вращающееся поле, так как сдвиг во времени между токами обмоток получается значительно меньше !/4 периода. К достоинству этих способов пуска относятся простота и относительно невысокая стоимость пусковых элементов.

Если в качестве фазосдвигающего элемента исполь­зовать конденсатор, то можно получить вращающееся магнитное поле, близкое к круговому, а в некоторых случаях и круговое.

Пуск двигателя в ход производится следующим об­разом. При замкнутом рубильнике *S2* (рис. 8, *б)* вклю­чается рубильник *S1.* По достижении частоты враще­ния, близкой к синхронной, цепь пусковой обмотки с пусковым элементом *ПЭ* размыкается вручную или автоматически, например, с помощью центробежного выключателя. Под напряжением сети на время работы остается только главная фаза.

Сравнение различных способов пуска показало, что пусковой ток для одного и того же значения момента получается наименьшим при пуске с помощью включе­ния конденсатора. С уменьшением пускового тока умень­шаются колебания напряжения в линии, что приводит к улучшению условий пуска вследствие известной про­порциональности между вращающим моментом асин­хронного двигателя и квадратом приложенного напря­жения.

Для одинаковых пусковых токов начальный вращаю­щий момент двигателя с конденсатором в цепи пусковой обмотки значительно превосходит момент, получаемый при включении активного сопротивления или индуктив­ности.

1. КОНДЕНСАТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Выше указывалось, что пусковые характеристики при однофазном включении двигателя становятся наиболее благоприятными, когда в качестве пускового элемента используется конденсатор. Для улучшения рабочих ха­рактеристик конденсатор определенной емкости остав­ляют включенным на весь рабочий период.

Асинхронный двигатель, работающий от сети одно­фазного тока, с конденсатором в его цепи называется **конденсаторным.**

По теории и расчету конденсаторного двигателя опубликовано значительное число работ в отечественной и иностранной литературе. Еще в 1934 г. один из вид­ных советских ученых — академик В. С. Кулебакич, рассмотрев основные свойства конденсаторного двига­теля, указал на широкие возможности его применения в народном хозяйстве и, в частности, выдвинул идею его использования в электрической тяге.

Данные теоретических и экспериментальных иссле­дований конденсаторного двигателя с тремя статорны­ми обмотками и специального исполнения нашли отра­жение в работах М. Крондля, В. Шуйского, И. М. Эдель­мана, Г. Б. Меркина, Н. М. Булаева, В. Е. Розенфельда, М. И. Крайцберга, Б. Н. Тихменева, X. Длауснитцера, О. А. Некрасова, А. Г. Мирера, Ю. С. Чечета, Ф. М. Юфе- рова и др.

Фундаментальные исследования вопросов теории и особенностей различных схем конденсаторного двига­теля принадлежат А. *И.* Адаменко.

Внимание исследователей продолжают занимать воп­росы дальнейшего развития методики проектирования и расчета конденсаторных двигателей специального ис­полнения. Вместе с тем большой интерес вызывает изу­чение возможностей улучшения эксплуатационных свойств асинхронного двигателя трехфазного тока, ра­ботающего в схеме однофазного включения с конденса­тором. Сказанное в значительной мере объясняется рас­ширением областей применения конденсаторного двига­теля. Каковы же его характерные особенности?

По сравнению со схемой однофазного включения (см. рис. 5), конденсаторный двигатель развивает боль­шую полезную мощность. Ее значение достигает 65— 85 % номинальной мощности, указанной на щитке. Кон­денсаторный двигатель как асинхронный короткозам­кнутый очень прост по устройству и надежен в работе. Его питание осуществляется от двухпроводной сети.

Ценным свойством конденсаторного двигателя явля­ется высокий коэффициент мощности, который может приобретать значения, практически равные единице. В последнем случае двигатель потребляет из сети ток, пропорциональный только активной мощности, так как источником реактивной мощности для него является кон­денсатор.

Пусковая и рабочая емкости при данном напряже­нии сети и принятой схеме включения зависят от мощ­ности двигателя. С увеличением мощности они возраста­ют. Начиная с некоторой мощности, применение конденсаторных двигателей экономически уже не оправ­дывается из-за относительно высокой стоимости конден­саторов. Предельной мощностью конденсаторного дви­гателя общего назначения следует принять номинальную мощность 1,5 кВт, обозначенную на щитке.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номинальная мощ­ность, кВт | Высота оси вращенис, мм | Синхронная частота вращения, об/мин | Степень защиты |
| 0,09 | 50 |  |  |
| 0,12 | 50 |  |  |
| 0,18 | 56 |  |  |
| 0,25 | 56 |  |  |
| 0,37 | 63 | 3000 |  |
| 0,55 | 63 |  |  |
| 0,75 | 71 |  |  |
| 1,1 | 71 |  |  |
| 1,5 | 80 |  |  |
| 0,06 | 50 |  |  |
| 0,09 | 50 |  |  |
| 0,12 | 56 |  |  |
| 0,18 | 56 |  |  |
| 0,25 | 63 | 1500 |  |
| 0,37 | 63 |  |  |
| 0,55 | 71 |  |  |
| 0,75 | 71 |  | IP 44 |
| 1,1 | 80 |  |  |
| 1,5 | 80 |  |  |
| 0,18 | 63 |  |  |
| 0,25 | 63 |  |  |
| 0,37 | 71 | 1000 |  |
| 0,55 | 71 |  |  |
| 0,75 | 80 |  |  |
| 1,1 | 80 |  |  |
| 0,25 | 71 |  |  |
| 0,37 | 80 |  |  |
| 0,55 | 80 | 750 |  |
| 0,75 | 90 |  |  |
| 1,1 | 90 |  |  |
| 1,5 | 100 |  |  |

Поясним сказанное на примере двигателя серии 4Л в защищенном исполнении с синхронной частотой вра­щения 1500 об/мин. Стоимость конденсаторов типа КБГ-МН, образующих рабочую емкость, при мощности двигателя 1 кВт примерно равна стоимости двигателя, т. е. составляет приблизительно 100%. Для мощностей 1,5 и 10 кВт соответственно получаем 140 и 270 % стои­мости двигателей.

Мощность от нескольких сотен ватт до 1,5 кВт имеет огромное число асинхронных грехфазных двигателей, применяемых в народном хозяйстве В связи с освоени­ем отечественными заводами технологии изготовления высококачественных конденсаторов становится реальной возможность широкого использования конденсаторных двигателей, особенно в условиях сельскохозяйственного производства.

Шкала номинальных мощностей электродвигателей[[1]](#footnote-2) серии 4А сельскохозяйственного назначения приведена в табл. 3.

Для работы в средах повышенной влажности (птице­водческие помещения, животноводческие фермы) выпус­кают электродвигатели серии 4А климатического испол­нения У2, которые отличаются от двигателей основного исполнения УЗ влагоморозостойкой изоляцией и защит­ными покрытиями.

Кроме сельскохозяйственных электроустановок кон­денсаторный двигатель может также найти применение в промышленности и быту для привода механизмов и машин небольшой мощности.

Отличительным элементом конденсаторного двигате­ля является конденсатор. Технические данные конденса­торов, пригодных для использования в цепи конденса­торного двигателя, приведены в § 4.

1. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы (ГОСТ 21415—75\*, 1282—79АЕ, 23232—78\*Е) применяются в самых различных облас­тях электротехники. В технике сильных токов их ис­пользуют преимущественно для улучшения коэффици­ента мощности. Они необходимы также для пуска и ра­боты конденсаторных двигателей.

Электрические свойства конденсаторов в значитель­ной мере зависят от рода диэлектрика, заключенного между обкладками. По этому признаку различают воз­душные конденсаторы, бумажные, слюдяные, масляные, электролитические и т. д. Каждый конденсатор рассчи­тан на определенное рабочее (номинальное) напряже­ние. Рабочим называется напряжение, при котором кон­денсатор может работать длительно. Номинальное на­пряжение и емкость указываются в паспортных данных конденсатора.

Конденсатор типа КБГ-ЛАН предназначен для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от —60 до 4-70 °C и выполня­ется постоянной емкости. Тип конденсатора КБГ-МН обозначает: конденсатор бумажный, герметический, в металлическом прямоугольном корпусе, нормальный.

Пример. Конденсатор типа КБГ-МН, 2 В, 1000 В, 4 мкФ±10%, т. е конденсатор бумажный, с двумя изолированными выводами (2 В) на номинальное напряжение постоянного тока 1 кВ, емкостью 4 мкФ, с допустимым отклонением ±10 %.

Бумажные конденсаторы выдерживают в течение 4 ч удвоенное рабочее напряжение, в течение 10 с — утро­енное рабочее напряжение.

По допустимому отклонению емкости от номиналь­ной конденсаторы выпускаются трех классов точности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Класс точности  | *1* | II | III |
| Допустимое отклонение от номиналь­ного, %  | ±5 | ±10 | ±20 |

Основные технические данные конденсаторов приве­дены в табл. 4.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рабочее на­пряжение постоянного тока, В | Номиналь­ная ем­кость, мкФ | Размеры кор­пуса (длинах X высотах ши­рина), мм | Рабочее на­пряжение постоянного тока, В | Номиналь­ная ем­кость, мкФ | Размеры кор­пуса (длинахX ширинахXвысота), мм |
| 400 | 1 | 45x25x58 | 600 | *4* | 65x35x108 |
| 400 | 2 | 45x25x58 | 600 | 6 | 65x60x108 |
| 400 | 4 | 65x35x93 | 1000 | 1 | 45x30x78 |
| 400 | 6 | 65x35x108 | 1000 | 2 | 65x35x93 |
| 400 | 8 | 65X60X108 | 1000 | 4 | 65x60x108 |
| 600 | I | 45x30x58 | 1500 | 1 | 45x30x108 |
| 600 | 2 | 45x30x108 | 1500 | 2 | 65X60X108 |

При работе конденсаторов в цепях переменного то­ка допустимое напряжение не должно превышать значе­ний, указанных в табл. 5.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номинальное на­пряжение посто­янного тока, В | Допустимое напряжение, В, переменною тока для частоты | *' Номинальное на-* 1 пряжение посто- ' янного тока, В | Допустимое напряжение, В, *переменного тока для* частоты |
| 50 Гц | 500 Гц | 50 Гц | 500 Гц |
| Емкость конденсатора, мкФ | ьмкость конденсатора, мкФ |
| ДО 2 | 4-10 | Д) 2 | 4-10 | До 2 | 4—10 | До 2 | 4-10 |
| 400600 | 250300 | 200250 | 125150 | 75100 | 10001500 | 400500 | 350 | 200250 | 150 |

Пример. Допустимое напряжение конденсаторов типов К.БГ-МН и БГТ (см. табл. 6) 6 мкФ, 600 В, используемых в сети переменного тока 50 Гц, составляет не 600, а 250 В.

Конденсаторы типа БГТ (бумажные герметические термостойкие) предназначены для работы в цепях посто­янного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от —60 до 4-100 °C и выполняются постоян­ной емкости. Конденсаторы типа БГТ по отклонению ем­кости от номинальной изготовляются трех классов точ­ности, как и конденсаторы типа КБГ-МН.

В табл. 6 приведены основные технические данные конденсаторов.

Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рабочее на пряжение постоянного юка, В | Номиналь­ная ем- кость. мкФ | Размеры кор­пуса (длинах Хширинахвы- сота) > мм | Рабочее на­пряжение постоянного тока, В | Номиналь­ная ем­кость, мкФ | Размеры кор­пуса (длинах X ширинах вы­сота) , мм |
| 400 | 1 | 45x30x54 | 600 | 2 | 65х30х 112 |
| 400 | 2 | 45X60X54 | 600 | 4 | 65x50x112 |
| 400 | 4 | 65x35x112 | 600 | 6 | 65x70x112 |
| 400 | 6 | 65x50X112 | 1000 | 1 | 45x80x54 |
| 400 | 8 | 65x70X112 | 1000 | 2 | 65x45x112 |
| 600 | 1 | 45x45x54 | 1000 | 4 | 65x80x112 |

Конденсаторы типа МБГЧ предназначены для работы в цепях переменного или пульсирующего тока в интерва­ле температур от —60 до -}-70оС и выполняются постоян­ной емкости в корпусах прямоугольной формы. Конден­саторы МБГЧ — металлобумажные (из металлизирован-

ной бумаги), герметизированные, частотные. По отклонению емкости от номинальной они изготовляются II и III классов точности.

Основные технические данные конденсаторов приве­дены в табл. 7.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рабочее на­пряжение переменного тока, В | Номиналь­ная ем­кость, мкФ | Размеры кор­пуса (длинах Xширинах вы­сота), мм | Рабочее на­пряжение переменного тока, В | Номиналь­ная ем­кость, мкФ | Размеры кор­пуса (длинах X ширинах вы­сота) , мм |
| 250 | 1 | 46X11X50 | 500 | 2 | 46X41X50 |
| 250 | 2 | 46Х 16x50 | 500 | 4 | 69X34X115 |
| 250 | 4 | 46x26x50 | 750 | 1 | 46X51X50 |
| 250 | 10 | 46 X 56 X 50 | 750 | 2 | 69 X 34 х 115 |
| 500 | 1 | 46X21X50 |  |  |  |

**Конденсаторы типа ЭП** (электролитические пусковые) предназначены для работы в цепях переменного тока в интервале температур от —40 до +60 °C и выполняют­ся постоянной емкости на номинальные рабочие напря­жения 175 и 300 В по III классу точности. Конденсаторы допускают до 30 включений в 1 ч продолжительностью включения до 3 с.

Номинальные значения емкости при напряжении 175 В составляют 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 и 100 мкФ, а при напряжении 300 В— 1,5, 3, 5, 8, 10, 15, 20 и 30 мкФ,

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Принципиальные электрические схемы конденсатор­ного двигателя с тремя обмотками на статоре показаны на рис. 9.

Как и в случае трехфазного включения, обмотки ста­тора могут быть соединены в звезду (рис. 9, а) или тре­угольник (рис. 9, б). Напряжение сети подводится к двум выводам двигателя, соответствующим началам двух фаз. Между одним из них и выводом, соответствующим нача­лу третьей фазы, включаются конденсаторы *1* и *2.* По­следний необходим для увеличения пускового момента.

Пусковая емкость

СП = СР + СО, (11)

где Ср — рабочая емкость; Со — отключаемая емкость.

После пуска двигателя конденсатор *2* отключается и в схеме остается только конденсатор *1* с рабочей емко­стью. Выводы обмоток, к которым подведено напряжение сети, назовем входными. Очевидно, что возможны три комбинации образования входных выводов: *С1—С2, С1—СЗ, СЗ—С2.* Положим, что использована первая из них. Тогда переключение на вторую комбинацию (С/— *СЗ)* приведет к изменению направления вращения (ре­версированию).

Как показывает анализ, в схемах включения на рис. *9, а и б* устанавливается определенный порядок следова-



Рис. 9. Принципиальные электрические схемы конденсаторного дви­гателя с тремя статорными обмотками:

2 —рабочий конденсатор; ***2*** — отключаемый конденсатор

ния токов статорных обмоток двигателя, а именно *1а— 1в—1с.* Этому порядку соответствует также вполне опре­деленное направление вращения поля. Если произвести отмеченное переключение, то токи статорных обмоток будут следовать в обратном порядке *(1а—1с—1в).* На­правление вращения изменяется при этом на противопо­ложное. Порядок следования токов фаз нетрудно опреде­лить графическим путем — с помощью векторных диа­грамм, которые рассматриваются в § 11.

В других вариантах схем включения (рис. 9, *в* и *г)* из трех фаз исходного трехфазного двигателя образованы две обмотки. Одну из них составляют две фазы, соеди­ненные последовательно. Обмотку, в цепи которой нахо­дится конденсатор, условимся называть конденсаторной фазой, другую обмотку, включаемую на напряжение се­ти, — главной фазой.

Соединение выводов на коробке контактных зажимовщитка применительно к схеме включения, приведенной на рис. 9, г, для одного направления вращения показано на рис. 10, *а* и для другого — на рис. 10,6. Реверсирова­ние двигателя достигается изменением порядка следова­ния токов главной и конденсаторной фаз. В данном слу­чае с этой целью производится переключение конденса­торной фазы (рис. 10).

В схеме включения конденсаторного двигателя ис­пользуется следующая аппаратура управления и защиты: двухполюсный и однополюсный рубильники, реле и пре-



Рис. 10. Соединение выводов обмоток статора на щитке конденса­торного двигателя для схемы рис. 9, *г*

дохранители. Через двухполюсный рубильник к двигате­лю подводится питание от сети. Для включения и отклю­чения пускового конденсатора применяются однополюс­ный рубильник, центробежное реле или специальное реле, токовая обмотка которого включается в цепь главной фа­зы. Предохранитель защищает двигатель от коротких за­мыканий (КЗ).

В схеме конденсаторного двигателя, так же как и при трехфазном включении, можно использовать магнитный пускатель. В этом случае легко осуществляются дистан­ционное управление, защита от самозапуска (при силь­ном снижении напряжения сети двигатель отключается и самопроизвольно включиться не может), а также защи­та от перегрузки с помощью тепловых реле магнитного пускателя.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ И ПУСКОВОЙ ЕМКОСТИ

Номинальными напряжением и током конденсаторно­го двигателя условимся называть фазные значения этих величин, указанные в паспорте машины. Например, на щитке трехфазного асинхронного двигателя обозначено: 1 кВт, 127/220 В, 7,3/4,2 А, 1410об/мин, КПД = 78,5 %, cos ф = 0,79. В зависимости от напряжения сети обмотки статора при трехфазном включении соединяются в тре­угольник (при напряжении 127 В) либо в звезду (при на­пряжении 220 В). Соответственно ток двигателя при по­лезной мощности 1 кВт составляет 7,3 А (соединение тре­угольником) или 4,2 А (соединениезвездой). Однако не­зависимо от схемы соединения фазными значениями на­пряжения и тока в приведенном примере остаются 127 В и 4,2 А. Их мы и будем считать номинальными при ис­пользовании двигателя в качестве конденсаторного.

Емкость и реактивное сопротивление конденсатора на­ходятся в обратной зависимости. Чем меньше емкость, тем больше сопротивление. Изменение емкости сопро­вождается изменением тока. Из этого следует, что ток конденсаторной фазы (рис. 9, виг) может оказаться меньше или больше номинального. В первом случае мощ­ность двигателя недоиспользуется, во втором — возника­ет опасность недопустимого перегрева обмоток и повы­шения напряжений на отдельных участках схемы (на конденсаторной фазе, на конденсаторе). Особенно небла­гоприятным оказывается явление резонанса напряжений, при котором ток конденсаторной фазы во много раз пре­вышает номинальное значение, а возникающие перена­пряжения представляют опасность для персонала и, кро­ме того, могут вызвать пробой изоляции обмотки или конденсатора.

В практике эксплуатации конденсаторного двигателя правильный выбор рабочей емкости имеет поэтому весь­ма большое значение.

Рабочая (постоянно включенная) емкость выбрана правильно, если фазные токи и напряжения при нагрузке становятся практически номинальными. Развиваемая по­лезная мощность при этом принимается за номинальную мощность двигателя. Удовлетворяющую отмеченным ус­ловиям рабочую емкость будем обозначать через Ср, Ном- Определение рабочей емкости для любой произвольной нагрузки рассматривается в § 12.

Следует отметить, что полная симметрия напряжений и токов конденсаторного двигателя не достигается, осо­бенно для схем на рис. *9, а и б.* Тем не менее любой схе­ме включения соответствует одна вполне определенная емкость, при которой токи в обмотках нагруженного дви­гателя несущественно отличаются от номинальных.

Рабочая емкость пропорциональна мощности двига­теля (номинальному току) и обратно пропорциональна напряжению. Применительно к рассмотренным схемам включения конденсаторного двигателя для частоты 50 Гц рабочая емкость приближенно может быть определена по следующим соотношениям:

для схемы рис. 9, *а*

Ср,ном « 2800 . (12)

для схемы рис. 9, *б*

Ср,ноч«4800-^; (13)

для схемы рис. 9, *в*

Ср,но,« 1600-^; (14)

для схемы рис. 9, *г*

СР,НОМ«2740-^- , (15)

где /ном — номинальный ток, A; *U* — напряжение сети, В.

Таким образом, исходными данными, по которым оп­ределяется Ср, ном, являются номинальный ток двигателя и напряжение сети.

Пример. Определить рабочую емкость для двигателя 0,25 кВт, 127/220 В, 2,1/1,15 А, если двигатель включен по схеме, приведенной иа рис 9, *а,* а напряжение сети 220 В Как видно, номинальный ток конденсаторного двигателя равен 1,15 А. На основании (12) нахо­дим.

Ср пом « 2800 = 2800 ~~~ «14,6 мкФ.

Принимаем Ср НОМ — 15 мкФ

При определении пусковой емкости исходят прежде всего из требований создания необходимого пускового момента. Если по условиям работы электропривода пуск 28

двигателя происходит без нагрузки, то пусковая емкость обычно принимается равной рабочей. В этом случае схе­ма включения упрощается.

Пуск под нагрузкой совершается при наличии в цепи двигателя и рабочей, и отключаемой емкостей. Увеличе­ние отключаемой емкости приводит к возрастанию пуско­вого момента, и при некотором определенном ее значении момент достигает своего наибольшего значения. Дальней­шее увеличение емкости приводит к обратному резуль­тату: пусковой момент начинает уменьшаться.

Наибольший пусковой момент зависит не только от емкости, но и от схемы включения двигателя. При соеди­нении обмоток звездой (рис. 9, *а)* или треугольником (рис. 8, *б)* пусковой момент не превосходит номинально­го при трехфазном включении. Для других схем (рис. 9), виг) наибольший пусковой момент может в несколько раз превышать значение номинального момента, но его реализация сопряжена с появлением значительных пе­ренапряжений в цепи конденсаторной фазы.

Однако на практике не возникает необходимости в создании такого большого момента при пуске.

Исходя из условия получения пускового момента, близкого к номинальному (при трехфазном включении), необходимо иметь пусковую емкость, примерное значе­ние которой равно:

*Сп* (2,0 я- 3) Ср,ном . (16)

Отключаемые конденсаторы работают непродолжи­тельное время (всего несколько секунд за весь период включения или доли секунды). Это позволяет использо­вать при пуске наиболее дешевые электролитические кон­денсаторы типа ЭП, специально предназначенные для этой цели

1. НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРЕ

В § 6 было рассмотрено определение рабочей и пуско­вой емкостей для различных схем включения конденса­торного двигателя. Не менее важным является выбор конденсаторов по напряжению. Действительно, установ­ка конденсаторов с «запасом» по напряжению, т. е. с пре­вышением номинального напряжения переменного тока над тем, под которым они находятся в схеме, приводит к недоиспользованию их реактивной мощности. Кроме того, стоимость конденсаторов с повышением номиналь­ного напряжения увеличивается. С другой стороны, экс­плуатация конденсаторов под напряжением, превышаю­щим номинальное, приводит к преждевременному выходу их из строя.

Мы будем сравнивать напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке с напряжением сети.

Для первых двух схем включения конденсаторного двигателя (рис. 9, *а* и *б)* без существенной погрешности может быть принято равенство

£/К,ном « *U,* (17)

где (7К>НОМ— напряжение на конденсаторе при номиналь­ной нагрузке (действующее значение); *U —* напряжение сети.

Связь между напряжениями при включении двигателя по схеме, приведенной на рис. 9, г, выражается зависи­мостью

(7К.НОМ« 1,15(7. (18)

Из последнего выражения видно, что в данном случае напряжение на конденсаторе на 15 % выше напряжения сети.

Превышение напряжения конденсатора над напряже­нием сети для схемы, приведенной на рис. 9, *в,* оказыва­ется еще большим:

(7К.НОЧ«2(7. (19)

Напряжение на конденсаторе, как будет показано ни­же, при постоянной рабочей емкости и данном напряже­нии сети не остается неизменным. Увеличиваясь с умень­шением нагрузки, оно достигает наибольшего значения при холостом ходе, составляя (1,2—1,25) *UK,* ном-

При работе двигателя с нагрузкой, меньшей номи­нальной, рекомендуется пользоваться соответственно сле­дующими соотношениями:

для схемы рис. 9, *а* и *б*

(7K,P« 1,15(7; (20)

для схемы рис. 9, *г*

(7К,Р« 1,3(7; (21)

для схемы рис. 9, *в*

*ик>Г* « 2,2(7, (22)

где (7к,р — расчетное напряжение конденсатора.

Конденсатор выбран правильно, если его номинальное напряжение переменного тока равно расчетному или не­сколько больше его.

Пример. Двигатель мощностью 1 кВт, 127/220 В включен по схеме, приведенной на рис. 9, г. Напряжение сети 220 В, рабочая емкость 52 мкФ состоит из конденсаторов типа КБГ-МН по 2 мкФ в каждом.

Требуется определить рабочее напряжение конденсаторов.

Расчетное напряжение *UKlV* вычисляем по (21):

17к,р« 1,34/= 1,3-220 = 286 В.

По табл. 5 для конденсаторов до 2 мкФ при частоте 50 Гц на­ходим, что допустимому напряжению переменного тока 300 В (бли­жайшее большее к 286 В) соответствует номинальное напряжение постоянного тока 600 В. Итак, выбираем конденсаторы с рабочим напряжением 600 В

Рабочую емкость комплектуем из 26 конденсаторов по 2 мкФ каждый.

1. ВЫБОР СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Выбор схемы включения конденсаторного двигателя производится с учетом напряжения сети и данных двига­теля по напряжению.

Схема выбрана правильно, если любая из обмоток статора трехфазного двигателя при номинальной нагруз­ке оказывается под напряжением, равным номинальному, или близким к нему. При этом имеется в виду, что уста­новленная рабочая емкость определена по соотношению, соответствующему схеме.

Кроме согласования данных по напряжению, оцени­ваются особенности возможных схем. Заметим, что в от­дельных конкретных случаях выбор вариантов схем мо­жет быть ограничен.

Пример. Статорные обмотки двигателя электрорубаика 0,62 кВт, 220 В, 1,88 А соединены в звезду, причем нулевая точка недоступна. Очевидно, что как конденсаторный он может иметь только одну схе­му включения, изображенную на рис. 9, *а.* Источником питания для двигателя служит сеть однофазного тока напряжением 220 В.

Рассмотрим особенности конденсаторного двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 9, *а.* Назовем обмотку *С1—С4* главной фазой, через которую проходит весь ток двигателя. Обмотку *СЗ—С6,* соединенную после-

довательно с конденсатором, назовем конденсаторной фазой и третью обмотку *С2—С5 —* вспомогательной фазой.

Изменение токов этих фаз с изменением скольжения оказывается совершенно различным. Если ток главной фазы с уменьшением нагрузки (скольжения) уменьшает­ся, то ток конденсаторной фазы, наоборот, возрастает, достигая наибольшего значения при холостом ходе.

Вспомогательная фаза при холостом ходе находится в генераторном режиме — ее активная мощность отрица­тельна. С возрастанием нагрузки вспомогательная фаза переходит в двигательный режим. При этом ее ток, умень­шаясь, достигает некоторого минимального значения и затем начинает увеличиваться.

Активная мощность по фазам распределяется нерав­номерно. При номинальной нагрузке главная фаза раз­вивает примерно такую же мощность, как конденсатор­ная и вспомогательная, вместе взятые. Равенства токов всех фаз номинальному не достигается. Поэтому под но­минальной здесь имеется в виду такая нагрузка, при ко­торой токи двух фаз равны номинальному, а ток третьей фазы составляет 70—85 % номинального. Это определе­ние относится и к случаю соединения обмоток статора треугольником.

Характерными особенностями схемы являются отно­сительно небольшие значения пускового момента и на­пряжения на конденсаторе.

В другой схеме включения (рис. 9, б) обмотки двига­теля соединены в треугольник. По аналогии с предыду­щей схемой здесь также можно различить главную, кон­денсаторную и вспомогательную фазы. Вспомогательной назовем фазу *С1—С4,* к которой подведено напряжение сети. Обмотка *С2—С5* с параллельно присоединенным конденсатором представляет собой конденсаторную фазу, и третья обмотка *СЗ—С6 —* главную фазу.

Характер изменения токов в фазах с изменением на­грузки остается таким же, как и при соединении обмоток статора в звезду.

Пример. В § 6 для двигателя, соединенного в звезду, при напря­жении сети 220 В получена рабочая емкость Ср,ном» 14,6 мкФ. На­пряжение на конденсаторе в соответствии с (17) равно (/к,аомг»б= = 220 В.

При напряжении сети 127 В обмотки двигателя соединяются в треугольник по схеме рис. 9,6. Для нее в соответствии с (13)

/ 115

Ср,ном « 4800 = 4800 = 43,5 мкФ.

Сравнивая емкости 43,5 и 14,6 мкФ, видим, что для схемы рис. 9, *б* рабочая емкость увеличивается в 3 раза. Напряжение на конден­саторе определяется по (17):

Сц,ном *~ U —* 127 В.

Активная мощность между обмотками распределяется неравномерно. Наибольшую мощность при номинальной нагрузке развивают главная и вспомогательная фазы.

Относительно небольшой пусковой момент составля­ет одно из характерных свойств этой схемы. Особенности ее по сравнению с предыдущей состоят в том, что для одного и того же двигателя напряжение на конденсаторе уменьшается в *V*3 раз, а емкость рабочего конденсато­ра увеличивается в 3 раза.

Проведенное сравнение показывает, что первая схема (рис. 9, *а)* является предпочтительнее, так как ее техни­ческие и экономические показатели лучше: меньше ем­кость и габариты батареи конденсаторов, ниже стоимость ее установки. Однако ее применение не всегда оказыва­ется возможным. Если напряжение сети равно номиналь­ному напряжению фазы, обмотки двигателя соединяются в треугольник (рис. 9, *б)* или как показано на рис. 9, *в.*

Обмотки статора трехфазного асинхронного двигате­ля в схемах рис. 9, *в* и *г* образуют две фазы — главную и конденсаторную.

Ток главной фазы возрастает *с* нагрузкой, конденса­торной — уменьшается. Двигатель работает с номиналь­ной нагрузкой, когда по обеим обмоткам проходит номи­нальный ток. При этом обратное магнитное поле стано­вится несущественным, вследствие этого использование мощности двигателя улучшается.

Активные мощности главной и конденсаторной фаз, соответствующие номинальной нагрузке, примерно одина­ковы. С уменьшением нагрузки происходит некоторое воз­растание мощности конденсаторной фазы. Мощность главной фазы довольно резко уменьшается и на холостом ходу приобретает отрицательное значение: главная фаза переходит в режим асинхронного генератора с конденса­торным возбуждением, работающего параллельно с се­тью. С появлением нагрузки на валу главная фаза пере­ходит в двигательный режим.

Достоинствами схем рис. 9, в и г по сравнению с рас­смотренными выше являются возможность получения значительного пускового момента и лучшее использова­ние мощности двигателя. Сравним эти схемы.

Пусть питающая сеть однофазного тока, как это ча­сто встречается на практике, имеет напряжение 220 В. Очевидно, что если двигатель выполнен на напряжения 220/380 В, он включается по схеме, приведенной на рис. 9, *в* или по схеме рис. 9, *г,* если номинальные напряжения двигателя 127/220 В.

Напряжение на конденсаторе при номинальной на­грузке составит: для схемы рис. 9, *в Uk,hom^2U=* =2-220=440 В, а для схемы рис. 9,г J7K,H0M« 1,15 17= = 1,15-220=253 В.

Между напряжениями на конденсаторе в том и другом случае имеется существенная разница. Повышение на­пряжения связано с некоторым увеличением стоимости конденсаторов и уменьшением безопасности обслужива­ния. Кроме того, вследствие возрастания индуктивного сопротивления конденсаторной фазы при включении дви­гателя по схеме рис. 9, *в* возникает опасность перенапря­жения, особенно при пуске двигателя.

Схема рис. 9, г, выгодно отличаясь от предыдущей, заслуживает предпочтения. Она является наиболее ра­циональной схемой включения конденсаторного двигате­ля. Ниже этот вывод будет обоснован с помощью вектор­ных диаграмм токов и напряжений.

Заметим, что двигатель на напряжения 127/220 В так­же может быть включен по схеме рис. 9, *в,* но на напря­жение сети 127 В. Если же номинальные напряжения двигателя равны 220/380 В, а напряжение питающей се­ти равно 220 В, то здесь вместо схемы включения конден­саторного двигателя с двумя обмотками (рис. 9, *в)* сле­дует выбрать схему с соединением фаз в треугольник (рис. 9,6), несмотря на увеличение емкости конденса­торов.

Пример. Имеются конденсаторы типов МБГЧ и ЭП. Двигатель 1 кВт, 220/380 В, с номинальным током фазы 2,4 А включается на напряжение сети 220 В. Требуется определить значение рабочей и пусковой емкостей, а также расчетное напряжение на конденсато­рах и напряжение при номинальной нагрузке.

**Схема рис. 9, *б***

**Рабочая емкость по (13)**

*J* 2 4

Ср,ном 4800 ”°М" = 4SOO *= 52,5 мкФ.*

Номинальное напряжение на конденсаторе по (17)

ном *U —* 220 В.

Расчетное напряжение конденсатора по (20)

Ук,р« 1,15(7= 1,15.220 «з 250 В.

**По** табл. 7 выбираем 13 конденсаторов **МБГЧ емкостью по 4 мкФ** с рабочим напряжением 250 **В.**

Отключаемую емкость принимаем по (16) равной

Со «5 2Ср н0М = 105 мкФ

и выбираем для нее пять конденсаторов типа ЭП по 20 мкФ иа 300 В.

**Схема рис. 9,** *в*

Рабочая емкость по (14)

/ 2 4

Ср,ном« 1600 = 1600 18 мкФ.

Номинальное напряжение иа конденсаторе по (19)

(7J!H0M » 2(7 = 2-220 = 440 В.

Оно может быть найдено также умножением номинального тока на реактивное сопротивление конденсатора *хс:*

*и -* Ю»

К,НОМ ^НОМ *ХС ^НОМ ’*

где <n=2nf—угловая частота переменного тока; *С —* емкость, мкФ; *f —* частота напряжения сети, Гц.

Произведя вычисления для частоты (=50 Гц, получим:'

10е

Си,ном — 2,4 ~~7Я — 425 В.

Расхождение с данными, полученными по (19), составляет при­мерно 4 %, что для практических расчетов вполне допустимо.

Расчетное напряжение на конденсаторе по (22)

(7к,р яа 2,2(7 = 2,2-220 = 484 В.

По табл. 7 выбираем девять конденсаторов МБГЧ по 2 мкФ иа рабочее напряжение 500 В.

Для отключаемой емкости конденсаторы типа ЭП не подходят по напряжению. Поэтому отключаемую емкость составляем из кон­денсаторов типа МБГЧ, приняв ее равной

Со ~ 1>5Ср.ном= 1,5.18 = 27 мкФ.

По табл. 7 выбираем семь конденсаторов по 4 мкФ на рабочее напряжение 500 В.

Приведенный пример подтверждает целесообразность включения конденсаторного двигателя при отмеченных условиях по схеме рис. 9, *б.*

Пример. Выбрать схему включения конденсаторного двигателя 0,6 кВт, 127/220 В с номинальным током фазы 2,5 А, если напряже­ние сети равно 127 В. Определить рабочую емкость и выбрать кон­денсаторы типа КБГ-МН.

Сопоставление приведенных данных по напряжению показывает, что включение двигателя возможно по схемам рис. 9, *б* или *в.* Произ­ведем вычисления для обеих схем.

**Схема рис. 9, *б***

Рабочая емкость по (13)

Ср,ном « 4800 = 4800 = 94 мкФ.

Расчетное напряжение на конденсаторе по (20)

t/KiP « 1,151/= 1,15.127 « 146 В.

По табл. 5 для частоты 50 Гц выбираем конденсаторы емкостью от 4 до 10 мкФ с допустимым напряжением переменного тока 220 В, что соответствует номинальному напряжению постоянного тока 400 В, обозначенному на конденсаторах.

По табл. 4 для рабочего напряжения постоянного тока 400 В выбираем 16 конденсаторов по 6 мкФ.

Схема рис. 9, *в*

Рабочая емкость по (14)

Ср,ном « 1600 = 1600 = 32 мкФ.

Расчетное напряжение на конденсаторе по (22)

1/К1Р« 2,2(7 = 2,2.127 « 280 В.

По табл. 5 для частоты 50 Гц выбираем конденсаторы емкостью 2 мкФ с допустимым напряжением переменного тока 300 В, что со­ответствует номинальному напряжению постоянного тока 600 В.

По табл. 4 для рабочего напряжения постоянного тока 600 В выбираем 16 конденсаторов емкостью по 2 мкФ.

При относительно невысоком напряжении на конден­саторах схема рис. 9, в в данном конкретном случае отли­чается меньшими емкостью и стоимостью конденсаторов. 36

1. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

Величины, изменяющиеся во времени по синусоидаль- ному закону, удобно изображать вращающимися векто­рами.

Примем, что вектор тока *ОА* вращается в положи­тельном направлении, как показано на рис. 11, с посто­янной угловой частотой где *Т —* период, т. е. время поворота вектора на угол, равный 2л, рад, а длина его в определенном масштабе равна амплитуде *Imax\**



Рис. 11. Положение вращающегося вектора тока в различные мо­менты времени

(23)

Мгновенные значения тока *i,* отнесенные к любому произвольно взятому моменту времени *t,* будут опреде­ляться проекциями вектора на вертикальную ось.

Из рассмотрения графиков рис. 11 нетрудно соста­вить представление о характере кривой зависимости то­ка от времени. Для этого достаточно вектор *ОА* мыслен­но вращать и в течение периода фиксировать мгновенные значения тока через равные промежутки времени, соот­ветствующие одинаковым углам поворота. Исходное по­ложение вектора, определяемое начальной фазой ф, вы­бирается произвольно.

Отложив время периода по горизонтальной оси, мож­но для каждого момента времени показать значение и на­правление проекции вектора тока на вертикальную ось. Огибающая мгновенных значений тока представляет со­бою синусоидальную кривую, уравнение которой записывается в виде

t = Anax sin (со/ + Ф), где со/ — угол поворота вектора за время /; ф — началь­ная фаза, соответствующая начальному положению век­тора в момент / = 0.

В течение периода заканчивается полный цикл изме­нений тока. Во втором и последующих периодах эти из­менения повторяются.

Аналогичным образом и синусоидально изменяющееся напряжение можно представить графически в виде век­тора, вращающегося в положительном направлении с уг­ловой частотой со. Векторы тока и напряжения, изобра­женные в соответствующих масштабах, можно совмес­тить, т. е. показать в одной системе координат.

Совокупность векторов, изображающих синусоидаль­но изменяющиеся функции времени, называется век­торной диаграммой. Векторные диаграммы тока и напряжения используются для получения расчетных соотношений. Обычно они строятся для одного какого- либо момента времени, выбранного произвольно. При этом система координат на график не наносится.

Между амплитудными и действующими значениями синусоидально изменяющихся тока и напряжения суще­ствует зависимость

*Umax* = /2 *U,*

где *I, U —* действующие значения тока и напряжения, т. е. значения, которые регистрируются приборами, вклю­ченными в цепь переменного тока.

Условимся в дальнейшем пользоваться действующими значениями синусоидальных величин.

Вращающиеся векторы тока и напряжения остаются неподвижными относительно друг друга, так как частоты вращения их равны, а направления вращения совпада-jot. Между ними в общем случае возникает сдвиг во вре­мени, соответствующий фазовому углу ф. Угол сдвига векторов тока и напряжения зависит от характера на­грузки.

В цепи переменного тока различают: активное сопро­тивление г; индуктивное сопротивление *xL\* емкостное со­противление *Хс.* Независимо от числа и комбинации этих сопротивлений в конкретной цепи их всегда можно за­менить одним эквивалентным или полным сопротивле­нием *Z.*



Рис. 12. Векторные диаграммы тока и напряжений *(а—в),* соответ­ствующие схемам включения в цепь переменного тока активного (г), индуктивного *(д) и* емкостного *(е)* сопротивлений

Из курса электротехники известно, что ток совпадает по фазе с активным падением напряжения (ф==0), т. е. с падением напряжения на активном сопротивлении, от­стает от индуктивного падения напряжения на угол ф — =л/2 и опережает падение напряжения на конденсато­ре на угол ф=л/2.

Совместные диаграммы тока и напряжений показаны на рис. 12. При их рассмотрении необходимо помнить, что за направление вращения векторов принято направление против часовой стрелки. Пользуясь отмеченными прави­лами, нетрудно выполнить построение векторной диаграм­мы токов и напряжений для приемника, содержащего ка­чественно различные сопротивления.

Представим фазу двигателя переменного тока в виде электрической цепи, состоящей из активного и индуктив- кого сопротивлений, соединенных последовательно (рис. 13, *а).*

Активное сопротивление отражает процессы преобра­зования электроэнергии в двигателе, о которых говори­лось выше. Наличие индуктивного сопротивления указы­вает на то, что кроме активной двигатель получает из се­ти реактивную мощность, необходимую для образования магнитного поля.

Векторная диаграмма тока и напряжений фазы двига­теля показана на рис. 13, *б.* Методика ее построения сле-



Рис. 13. Включение статорной обмотки двигателя иа переменное на­пряжение:

*а* — принципиальная схема; б —векторная диаграмма тока и напряжений; в — треугольник сопротивлений; а — треугольник мощностей

дующая. Сначала откладывают в произвольном масшта­бе вектор тока. В данном случае направление вектора тока принято совпадающим с положительным направле­нием оси абсцисс. Затем, пользуясь масштабом напряже­ния, выбранным также произвольно, наносят вектор ак­тивного падения напряжения (отрезок *О А),* совпадающе­го по фазе с током. Далее из точки *А* проводят вектор индуктивного падения напряжения *АВ,* опережающего ток по фазе на угол л/2.

Сложив геометрически векторы *ОА* и *АВ,* получают значение и направление вектора напряжения сети *ОВ,* приложенного к фазе двигателя. Как видно, ток фазы двигателя отстает от напряжения, приложенного к фазе, на угол <р-<л/2, что и характерно для активно-индуктив­ной нагрузки.

Треугольник *ОАВ* называется треугольником напря­жений. Из него по известной теореме Пифагора находят: *и - ]/■{/;+* £7. = /{/»-1/»;

*= VU‘-Ul,*

или

*IJ—U* cos <p; *U( = U* sin <p.

Из треугольника напряжений нетрудно получить по­добный ему треугольник сопротивлений (рис. 13, в) со сторонами

Из треугольника сопротивлений устанавливают, что полное сопротивление цепи связано со своими составля­ющими соотношениями

Z = 1/74^2;

*г* = ]/> —х'2; *XL \*=* ]/Z2—г2;

*т — 7,* cos <р; *xh = Z* sin <p.

Треугольник мощностей (рис. 13, г) можно таким же образом получить из треугольника напряжений, так как *Vi* = s; Ч/ = ?; =

Уравнения связи между полной мощностью и ее со­ставляющими устанавливают аналогично:

S = /Р2 4- Q2; *Р = VS' —* Q2; *Q* = /S2 — Р2;

*Р — S* cos <р; *Q = S* sin <р.

Исходными при построении векторных диаграмм яв­ляются векторы тока и напряжения. Если их положение задано, то, как видно из рис. 13,*б,* нетрудно получить составляющие напряжения, приложенного к цепи. Для этого достаточно вектор напряжения *U* спроектировать на взаимно перпендикулярные направления, одно из ко­торых совпадает с направлением вектора тока.

Аналогичным образом вектор тока можно предста­вить в виде геометрической суммы активной *1а* и реактив­ной *1Г* составляющих. Первая из них совпадает по фазе с вектором напряжения, вторая — перпендикулярна ему.

На диаграмме рис. 14, *а* ток опережает напряжение по фазе на угол <р<л/2, что указывает на активно-ем­костный характер нагрузки. Из диаграммы следует:

/a = /cos<p; /,==7sin<p; *1* = ]/72 + *Рг.*

Составляющие тока характеризуют активную и реак­тивную мощности цепи. Действительно, приведенные вы­ше формулы для мощностей можно представить в виде

*Р ~ UIcosq> = 1Лй\ Q~Ulsiny = UIr,*

и если £/=const, то *P=l&, Q^=Ir.*

Условимся считать, что активная мощность положи­тельна, если фазовый угол ф=0 или ] ср | <л/2 (рис. 12, *а,* 13 и 14, а). При ф=л/2 она равна нулю (рис. 12, *б, в)* и при ]<р] >л/2 (рис. 14, *б)* становится отрицательной.

*la a) U, Ла В)*

Рис. 14. Разложение вектора тока на активную и реактив­ную составляющие при <р<л/2 (а) и <р>л/2 (б)

Знак активной мощности указывает на направление ее передачи. О направлении активной мощности можно су­дить по фазе активной составляющей тока.

Из сопоставления векторных диаграмм (рис. 14) сле­дует, что если активная составляющая тока совпадает по фазе с напряжением, то активная мощность поступает из сети, т. е. расходуется в цепи приемника. В этом случае активная мощность положительна (Р>0). Если актив­ная составляющая тока находится в противофазе с при­ложенным напряжением, то активная мощность отдает­ся в сеть, т. е. является отрицательной (Р<0).

1. ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ НАГРУЗКИ

Токи фаз асинхронного трехфазного двигателя при симметричном трехфазном включении возрастают по ме­ре увеличения нагрузки, а фазные напряжения остаются постоянными (предполагается, что питающая сеть об­ладает достаточно большой мощностью). При этом име­ют место равенства

*1 В~ ^С>*

*UA = UB = Uc\*=* const;

COS фл ~ COS tpB = COS фс,

где *Ia, Ib, Ic —* токи первой, второй и третьей фаз; *Ua, Uв, Uс —* фазные напряжения.

Фазные напряжения сдвинуты относительно друг дру­га во времени на ‘/з периода. Соответственно на !/3 пе­риода сдвинуты относительно друг друга токи фаз.

Фазовый угол сдвига ф между током и напряжением фазы зависит от нагрузки. С увеличением последней он уменьшается, а коэффициент мощности cos ф возрастает.

При включении двигателя в сеть однофазного тока в качестве конденсаторного симметрия токов и напряже­ний статорных обмоток нарушается. Мощность двигате­ля при этом недоиспользуется, а зависимости токов и на­пряжений от нагрузки приобретают различный характер.

Условимся считать, что при включении конденсатор­ного двигателя по любой из рассмотренных схем напря­жение сети *U* и рабочая емкость Ср остаются постоян­ными, причем Ср=Ср,ном. Токи, напряжения и скольже­ние выразим в относительных единицах, т. е. в долях номинальных величин.

Зависимости токов от скольжения конденсаторного двигателя, статорные обмотки которого соединены звез­дой (рис. 15, а), иллюстрируются кривыми на рис. 15,6.

Ток фазы *А с* увеличением нагрузки возрастает, фазы *С* уменьшается, а фазы *В* изменяется неоднозначно, т. е.



Рис. 15. Соединение статорных обмоток конденсаторного двигателя звездой:

***а*** — принципиальная схема; <5 —графики зависимости токов; в —графики за« висимости напряжений от скольжения при Ср=Ср HQM

сначала уменьшается, затем, достигнув минимального значения, начинает возрастать. Заметим, что и для дру­гих схем включения конденсаторного двигателя с тремя обмотками на статоре характерна следующая особен­ность: фаза, ток которой с изменением нагрузки изменя­ется неоднозначно, при холостом ходе переходит в гене­раторный режим.

Напряжение на конденсаторе, уменьшающееся с на­грузкой, соизмеримо с напряжением сети (рис. 15, в). Фазные напряжения неодинаковы.



Рис. 16. Соединение статорных обмоток конденсаторного двигателя треугольником'

***а*** — принципиальная схема; ***б —*** графики зависимости токов; ***в —*** графики за\* 6-исимости напряжений от скольжения при Ср—Ср ноМ

При соединении обмоток двигателя в треугольник (рис. 16, *а)* зависимости токов от скольжения аналогич­ны кривым рис. 15,6. Неоднозначное изменение тока от­носится в данном случае к фазе *А.*

Ток конденсатора /к существенно превышает номи­нальный ток фазы, так как для схемы на рис. 16, *а* ха­рактерна значительная емкость СР;НОм [см. (13)]. Фазные напряжения *UB* и *Uc* в режиме номинальной нагрузки практически равны напряжению первой фазы *Ua* (рис. 16, в).

Графики токов двигателя с конденсатором, включен­ным в цепь двух статорных обмоток (рис. 17, а), приве­дены на рис. 17, *б.* Ток конденсаторной фазы с увеличе­нием скольжения уменьшается, главной фазы — изменя­ется неоднозначно.

Напряжение на конденсаторе (рис. 17, *в)* значитель­но превышает напряжение сети, с чем необходимо счи- 44

таться на практике. Напряжения статорных обмоток ис­ходного трехфазного двигателя в режиме номинальной нагрузки несущественно отличаются по значению.

При включении двигателя по схеме рис. 18, а зависи­мости токов от скольжения (рис. 18, б) аналогичны гра­фикам на рис. 17, б. Напряжение на конденсаторе не-



Рис. 17. Соединение двух статорных обмоток последовательно с кон­денсатором конденсаторного двигателя:

***а*** — принципиальная схема; ***б —*** графики зависимости токов; ***в ~~*** графики за­висимости напряжений от скольжения при ^р^^рном

сколько выше напряжения сети (рис. 18, в). Статорные обмотки исходного трехфазного двигателя находятся под напряжением, близким к номинальному. Ток конденса­торной фазы независимо от схемы включения двигателя имеет один и тот же характер — он уменьшается с уве­личением нагрузки. Поясним сказанное.



Рис. 18. Соединение одной статорной обмотки последовательно с кон­денсатором конденсаторного двигателя:

***а*** — принципиальная схема; б —графики зависимости токов; в — графики за­висимости напряжений от скольжения при ^р^^р^ом

Конденсаторная фаза (например фаза *А,* рис. 18, *а)* может быть представлена в виде электрической цепи, со­стоящей из последовательно соединенных активного *г,* индуктивного *xL* и емкостного *хс* сопротивлений. Реак­тивные сопротивления фазы связаны неравенством

*ХС > XL’* отвечающим необходимому сдвигу во времени (прибли­зительно на четверть периода) токов главной и конден­саторной фаз.

Построим по правилам, изложенным выше (см. § 9), прямоугольный треугольник напряжений для цепи кон­денсаторной фазы с учетом приведенного неравенства реактивных сопротивлений. Катетами его будут *1лГ* и *1а(хс—Xl),* а гипотенузой *I\_AZ.* Очевидно, что, разделив эти падения напряжений на ток фазы *1А,* получим тре­угольник сопротивлений, подобный исходному, причем полное сопротивление цепи конденсаторной фазы равно

**2= ]//'г2 + (хс —хд)2,**

где *хс = ——* = const (Ср = const).
шСр

Сопротивления *г* и *xl* зависят от режима работы (скольжения), т. е. являются переменными. Определяю­щее влияние на характер изменения сопротивления *Z* оказывает индуктивное сопротивление *xL.* Последнее с увеличением нагрузки уменьшается. В результате пол­ное сопротивление цепи конденсаторной фазы возраста­ет, а ток фазы при условии C=const — уменьшается.

1. ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Векторные диаграммы являются наглядным и вместе с тем достаточно точным средством исследования режи­мов работы машин переменного тока. Они могут быть по­строены для первичной (статорной) и вторичной (ротор­ной) цепей. Применительно к конденсаторному двигате­лю ограничимся рассмотрением векторных диаграмм токов и напряжений статорных цепей.

Исходными данными для построения векторных диаг­рамм являются токи, напряжения и активные мощности 46

обмоток, а также ток и напряжение сети. Все эти величи­ны могут быть получены экспериментально.

Методика построения векторных диаграмм состоит в следующем: для рассматриваемой схемы включения двигателя составляется система уравнений токов и на­пряжений; один из векторов, входящих в систему урав­нений, принимается за исходный и в определенном, удоб­ном для построения масштабе изображается на чертеже? после исходного вектора вычерчиваются остальные.

Масштабы токов и напряжений выбираются независи­мо относительно друг друга.

Для данного режима работы относительная ориента­ция векторов на диаграмме остается неизменной. Однако положение каждого из них определяется (задается) по­ложением исходного вектора. Условимся в качестве по­следнего принимать вектор напряжения сети, полагая, что в рассматриваемый момент времени его направление совпадает с положительным направлением оси абсцисс.

Как графические построения векторные диаграммы иллюстрируют связи между напряжениями или токами, вытекающие из законов Кирхгофа.

Для соединения статорных обмоток двигателя в звез-

| ду (рис. 15, а) получим: |
| --- |
|  | (24а) |
| IC!Со id о id *?! л* | (246) |
| *1а~ Lb + Lc<*причем*1а = Ь 1с -Ь*где *I —* ток двигателя; *1к —* ток конденсатора. | (24в) |

Отложив вектор напряжения сети в положительном направлении оси абсцисс, определяем в соответствии с уравнением (24а) положение векторов фазных напря­жений *Uа* и *Uв* с помощью циркуля методом засечек. Ду­ги окружностей с радиусом, пропорциональным фазным напряжениям *UA* и *UB,* проведенные из начала и конца вектора напряжения сети *U,* пересекаются в двух точ­ках. Тем не менее истинное решение является единст­венным. Правильность его подтверждается последующим построением. Примем, что векторы напряжений уравне­ния (24а) имеют последовательность *UA—U—UB* (привращении векторов против часовой стрелки), показан­ную на рис. 19.

Напряжение фазы *В* согласно (24) определяется гео­метрической суммой напряжений фазы *С* и конденсато­ра. Проделав аналогичный прием, находим положение векторов *Uc* и *UK.* После этого нетрудно построить век­торную диаграмму токов. Предварительно расчетом оп­ределяются коэффициенты мощности по формулам

*РА* C0S(₽h **= ,Г-7-** *иА1А*

*РВ
^в-ТГТ
и в‘в*

**(25)**

*рс*

С08Фс = 7Г7-

*ис‘с*

*р*

**СО8ф = ——**

*Ul*

и фазовые углы сдвига *q>A, q>B, д>с* и ф.

Сопротивления обмоток двигателя имеют активно­индуктивный характер, поэтому токи обмоток отстают от приложенных к ним напряжений на соответствующие фазовые углы сдвига.

Построив таким образом векторы токов, следует убе­диться в том, что выполняется условие, выражаемое уравнением (24в), причем ток фазы *С,* равный току кон­денсатора, опережает напряжение конденсатора на угол, равный л/2.



Рис. 19 Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включен­ного по схеме рис. 15, *а:*

***а*** — при холостом ходе; ***б —*** при номинальной нагрузке

Векторные диаграммы токов и напряжений статорных цепей двигателя при холостом ходе и номинальной на­грузке, построенные по (24) и (25), показаны на рис. 19, *а и б.*

В режиме холостого хода (рис. 19, а) активные мощ­ности первой и третьей фаз положительны (Рд>0; Рс>0). Действительно, фазовые углы сдвига фл<я/2, фС<л/2, активные составляющие токов обмоток /дсозфл, *Ic* cos ф*с* совпадают по фазе соответственно с напряжениями *UA* и *Uc-* Следовательно, мощности *РА* и *Рс* потребляются, т. е. поступают из сети (см. § 9).

Активная мощность второй фазы отрицательна (Рв<0), активная составляющая тока *IB* cos фв сдвинута относительно напряжения *UB* на 180°, т. е. находится с ним в противофазе. Это означает, что фаза *В* **генериру­ет** активную мощность, т. е. возвращает ее в сеть. Выше было показано, что ток фазы *В с* нагрузкой изменяется неоднозначно. Так же неоднозначно изменяется и мощ­ность этой фазы *Рв.*

Появление нагрузки приводит к изменению не только тока *1в* (рис. 15, *б),* но и его фазы. Вектор тока *1В* сме­щается в направлении против часовой стрелки. При фв=л/2 мощность

Pfi = *U в Iв* cos фв

проходит через нулевое значение и затем, изменив свой знак, начинает возрастать.

В режиме номинальной нагрузки (рис. 19, *б)* несим- метрия токов и напряжений уменьшается, коэффициент мощности двигателя возрастает, приближаясь к единице (из диаграммы cos ф«0,92), активные мощности всех статорных обмоток положительны, т. е., в соответствии с изложенным выше, преобразуются в полезную мощ­ность на валу и в мощность, компенсирующую потери внутри машины.

По векторным диаграммам можно проследить не только за изменением токов и напряжений при переходе двигателя из режима холостого хода к номинальной на­грузке, но и за изменением активных и реактивных мощ­ностей фаз.

Сопоставляя диаграммы рис. 19, можно прийти к вы­водам, справедливым и для других схем конденсаторно­го двигателя с тремя статорными обмотками, приведен­ных на рис. 16—18:

1. статорная обмотка исходного трехфазного двига­теля, ток которой с изменением нагрузки от 0 до номи­нальной изменяется неоднозначно, имеет неоднозначный характер изменения активной мощности и при холостом ходе находится в генераторном режиме;
2. токи фаз *1а, 1в, 1с* отстают от фазных напряжений *Ua, Ub, Uc* соответственно на углы *ц>А,* фв, <рс- Это озна­чает, что конденсаторный двигатель, так же как и двига­тель, работающий от сети трехфазного тока, всегда на­ходится в режиме потребления реактивный мощности. Источником последней являются конденсаторы и сеть.

Уравнения напряжений и токов двигателя при соеди­нении статорных обмоток в треугольник (рис. 16, а) при­нимают вид

(26)

*1а + 1с = Ь*7+7=7

причем

*U а = U.*

Векторные диаграммы токов и напряжений двигате­ля показаны на рис. 20.

Ток конденсатора опережает напряжение *UB по* фазе на угол фк=л/2.

Активные мощности второй и третьей фаз при холос­том ходе положительны (рис. 20, а), т. е. Ps>0, Рс>0.

Мощность первой фазы отрицательна (Рл<0), что указывает на неоднозначный характер ее изменения с изменением нагрузки.

При номинальном режиме (рис. 20, *б)* мощности всех фаз положительны. Коэффициент мощности практичес­ки равен единице (из диаграммы cos <р«0,98).

Уравнения напряжений и токов двигателя, включен­ного по схеме, приведенной на рис. 17, *а,* представим в виде

*U-—U=U •* п„.г G \_\_£» \_.Go’ ^св + ^к = ^л;

**(27)**

*La + Lc “ I)
Lb~ Lc>*

причем



Рис. 20. Векторные диаграммы кондеисаториого двигателя, включен­ного по схеме рис. 16, а:

а — при холостом ходе; ***б*** — при номинальной нагрузке

Соответствующие им векторные диаграммы показа­ны на рис. 21. Ток *1С* опережает напряжение конденса­тора *UK* по фазе на угол фк=л/2.

Из диаграммы для холостого хода (рис. 21, а) нахо­дим:

Рл<0(<рл>л/2); Рв>0(Фв<л/2);

Рс^0(Фс«л/2),

т. е. первая фаза двигателя находится в генераторном режиме, а вторая—в двигательном. Активная мощность *Ра* третьей фазы близка к нулю.

При номинальной нагрузке (рис. 21, *б)* токи фаз равны номинальному току, коэффициент мощности дви­гателя близок к единице (из диаграммы cos ф~0,96).

Активные мощности обмоток Рд>0, Рв>0, *Рс~0.*

В двигательном режиме находятся только две ста­торные обмотки.

Из сопоставления диаграмм рис. 21 следует, что одна

Уравнения напряжений и токов двигателя, включен­ного по схеме рис. 18, *а,* можно записать в виде

причем

*Чвс— Ч’’ La L\*'*

из статорных обмоток двигателя, включенного по схеме приведенной на рис. 17, а, с возрастанием нагрузки от О до номинальной активную мощность не развивает. По­этому использование мощности двигателя ухудшается. Заметим, что если путем переключения фазы *А* (рис. 17, а) изменить направление вращения двигателя, то изменится порядок следования фаз и статорные обмотки фаз *В и С* поменяются ролями.



Рис. 21. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включен­ного по схеме рис. 17, *а:*

***а*** — при холостом ходе; ***б —*** при номинальной нагрузке

—-в *У. с &вс"’* (28а)

(286)

*La* + /в = Л (28в)

*Lb~ [с* (28г)

Соответствующие им векторные диаграммы пред­ставлены на рис. 22. Ток фазы *А* опережает напряжение конденсатора t/K по фазе на угол *<рк=я/2.*

При холостом ходе '(рис. 22, *а)* первые две фазы дви­гателя потребляют активную мощность, а третья ее ге­нерирует:

Рл>0(Фл<л/2); Рв>0(Фв<л/2);

РС<°(ФС> л/2).

В режиме номинальной нагрузки (рис. 22, б) токи фаз равны номинальному току. Мощности всех статор­ных обмоток положительны, коэффициент мощности двигателя близок к единице (из диаграммы соэф~0,96).



Рис. 22. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включен­ного по схеме рис 18, а:

а —при холостом ходе; ***б —*** при номинальной нагрузке

Токи главной и конденсаторной фаз сдвинуты на угол *а~п/2,* вследствие этого вращающееся магнитное поле машины становится практически круговым. Из рас­смотрения диаграммы непосредственно следует, что для конденсаторного двигателя, включенного по схеме рис. 18, а, характерно улучшенное использование его мощно­сти. Как было отмечено выше, эта схема является наи­более рациональной.

1. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЕМКОСТИ

Рассмотрим расчетное определение рабочей емкости применительно к схеме включения конденсаторного дви­гателя, показанной на рис. 18, а, полагая, что в воздуш­ном зазоре машины создается круговое вращающееся магнитное поле. При этом МДС главной и конденсатор-

ной фаз, сдвинутые относительно друг друга в прост­ранстве на 90° и во времени на 'Д периода, равны (см. рис. 8,в):

*1 т , = / . щ . .***г,ф г,ф К,ф К,ф ’**

где шг,ф — число витков главной фазы; и>к,ф— число вит­ков конденсаторной фазы, равное числу витков статор­ной обмотки исходного трехфазного двигателя. Из схе­мы, приведенной на рис. 18,*а, следует* очевидное равен­ство *Юя,ф = и>А.*

Установим соотношение между числами витков глав­ной и конденсаторной фаз. Обратимся к рис. 8, *в,* из ко­торого видно, что намагничивающее действие тока /г,ф, проходящего по двум статорным обмоткам двигателя, соединенным последовательно, эквивалентно намагни­чивающему действию одной обмотки (главной фазы) с ЧИСЛОМ ВИТКОВ Шг.ф, по которой проходит тот же ток, причем ось главной фазы сдвинута в пространстве отно­сительно оси конденсаторной фазы на 90°.

Если принять, что ток главной фазы /г,ф= 1 отн. ед., то отрезки *02, 03* и *04* будут пропорциональны числам витков соответствующих обмоток.

Следовательно,

оУг.ф = *wB* cos 30° + *wc* cos 30° = ф^З О)к,ф ,

где *wB = wc = WA = wKli,.*

Из условия равенства МДС, приведенного выше, на­ходим зависимость между токами обмоток:

/ = ■ /

г’ф 1/-Г К-Ф’

Примем, что напряжения и токи двигателя образуют симметричные двухфазные системы. Тогда треугольник напряжений статорных цепей в отличие от треугольни­ков напряжений, изображенных на рис. 22, становится

прямоугольным с углом (t/K, t/)=30°. Из него получаем:

*и* = Ь'г.Ф = 2 *п .*

к cos 30° *у- г,ф*

**С/К,ф = t/Ksin30° =**

*-±=иг,ф = -^-и.*

Уз Уз

**Полные мощности главной и конденсаторной фаз равны:**

^г.ф Л.ф ^.ф /К(ф ’

в чем легко убедиться по приведенным выше уравнениям связи между токами и напряжениями фаз.

Из последнего выражения вытекает, .что полная мощ­ность, потребляемая двигателем из сети, может быть представлена в виде соотношения

**S =** *2U . L . = 2UI ..*

г.ф г.ф Г.Ф

Реактивная мощность конденсаторов при круговом вращающемся поле равна полной мощности двигателя:

*Qa =* /К,Ф = -4= С//3 /г,ф « 2С7/Г,ф.

из

**С** другой стороны,

Приравнивая правые части последних выражений и учитывая зависимость между токами главной и кон­денсаторной фаз, находим емкость конденсаторов при круговом вращающемся поле в фарадах

*Q == ^^3 I* к,ф

2 *(£>U ’*

или в микрофарадах

С = — -М'10\* . (29)

2 *аи ’*

Из полученных соотношений следует, что при номи­нальном токе главной фазы /г,ф = /ном по условию обра­зования кругового вращающегося поля в цепь конден­саторной фазы следует ввести емкость, соответствую­щую току /к,Ф=УГ3 /„ом. Проводники обмоток статора исходного трехфазного двигателя имеют одинаковую площадь поперечного сечения, поэтому нельзя допустить, чтобы при номинальном токе главной фазы ток конден­саторной фазы составлял 1,73 номинального значения.

Однако нет необходимости добиваться идеальной сим­метрии токов и напряжений, тем более, что она соответ­ствует только одной определенной нагрузке. Вполне достаточно иметь условия, возможно более близкие к сим- мет ричному режиму, когда обратное поле не оказыва­ет заметного влияния на работу двигателя (см. диаграм­му на рис. 22, б).

Номинальной нагрузкой конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками следует признать такую нагрузку, при которой токи в обмотках практически рав­ны номинальному току фазы, обозначенному на щитке.

Таким образом, рабочая емкость конденсаторов мо­жет определяться по выражению (29), в котором значе­ние тока конденсаторной фазы принимается равным но­минальному:

СР,НОМ=^-^ 10е. (30)

Применительно к частоте 50 Гц эта формула после подстановки и = 314 1/с и сокращений приводится к (15).

Рабочая емкость СР,НОм в соответствии с (30) при ус­ловиях (7 = const, <o = const пропорциональна номиналь­ному току фазы.

Для номинального тока, выраженного через полную мощность двигателя и фазное значение напряжения, имеем:

***г*  5ном /О1\**

**'ном • V131/**

**ном**

Последнее выражение с учетом (8) получает вид

**/ Р1НОМ , пл,**

zhom **’TTJ •**

З^ном cos Фном

Активная мощность Ртом, потребляемая двигателем при номинальной нагрузке, может вычисляться по (7).

Соотношение (32) характеризует влияние коэффи­циента мощности на ток. Для одних и тех же значений полезной мощности и КПД ток двигателя тем меньше, чем выше коэффициент мощности. Объясняется это ограничением удельной намагничивающей мощности (см. рис. 3 и 4), обусловливающим в соответствии с (4) и (31) уменьшение полной мощности и тока.

Отсюда становится очевидной зависимость емкости, необходимой для образования в воздушном зазоре ма­шины кругового или практически кругового поля, от коэффициента мощности исходного трехфазного двига­теля. Чем выше коэффициент мощности, тем меньшереактивная мощность, ток двигателя, а также рабочая емкость Ср,ном\*

Пример. Определим рабочую емкость Ср,Ном двигателей мощно­стью 1,1; 1,5 и 2,2 кВт (табл 1), включенных по схеме рис. 9, ***г*** на напряжение сети 380 В.

Номинальный ток двигателя мощностью 1,1 кВт равен:

~~/~~~~Р0М~~ ~~= -~~ ~~=~~ ~~—~~ ~~1~~~~’~~~~ь1~~~~9~~~~8~~— = з А.

^ном cos Фном ^ном 3’220«0,73\*0,76

Емкость Ср,но» определяем по (15):

Ср ном « 2740 = 2740—« 22 мкФ.

*U* ооО

Аналогичным образом производятся расчеты для остальных дви­гателей

Построенные по данным расчетов кривые (рис. 23) иллюстрируют зависимость рабочей емкости СР,ном от

Рис. 23. Зависимости рабочей ем­кости от коэффициента мощности асинхронного двигателя Ср,ВОм= =/(соз<рвом) при PH0M=const

коэффициента мощности cos<pHOM при одном и том же значении номинальной мощности асинхронного двигате­ля *Рвом —* const.

1. КОНДЕНСАТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧИСЛА ФАЗ

В воздушном зазоре конденсаторного двигателя создается вращающееся магнитное поле, которое может стать круговым. Для этого достаточно, чтобы намагни­чивающие силы двух обмоток, образованных из трех фаз исходного трехфазного двигателя (см. рис. 9, в, г), были численно равны, а токи обмоток сдвинуты во вре­мени на ’Д периода. Однако равенство намагничиваю­щих сил обмоток достигается лишь в частном случае, т.е. соответствует одной определенной нагрузке. С дру­гой стороны, при вращении ротора обратное поле су-

щественно ослабляется, особенно если нагрузка на валу двигателя равна номинальной или близка к ней. Пред­полагается также, что рабочая емкость подобрана пра­вильно.

Изложенное позволяет пренебречь влиянием обрат­ного поля на работу двигателя и принять близкое к дей­ствительности допущение, что вращающееся магнитное поле машины является круговым. Силовые линии этого поля, пересекая проводники статорных обмоток, индук­тируют в них переменные электродвижущие силы.

Из сказанного следует возможность использования конденсаторного двигателя с тремя статорными обмот­ками для преобразования числа фаз, т. е. в режиме пре­образователя однофазного напряжения питающей сети в трехфазное.

Такой преобразователь может найти широкое при­менение в условиях сельскохозяйственного производства, когда трехфазная сеть отсутствует и в то же время воз­никает необходимость в источниках питания трехфазных двигателей небольшой мощности (ручной электроинст­румент, машинки для электрострижки овец и др.).

Одна из возможных схем конденсаторного двигате­ля— преобразователя числа фаз, предназначенного для электроснабжения потребителей трехфазного тока, при­ведена на рис. 24. Статорные обмотки двигателя и со­противления фаз нагрузки имеют схему соединения звез­дой.

Для конденсаторного двигателя — преобразователя фаз— возможны следующие режимы:

1. двигателя (нагрузка приложена со стороны вала, рубильник 5 разомкнут);
2. преобразователя фаз (нагрузка на валу отсутст­вует, рубильник S замкнут);
3. двигателя — преобразователя фаз (нагрузка при­ложена со стороны вала, рубильник S замкнут).

Очевидно, что в любом из отмеченных режимов ток наиболее нагруженной фазы не должен превышать но­минального.

Будем полагать, что рубильник S замкнут и что дви­гатель используется в качестве преобразователя фаз.

Напряжения статорных обмоток образуют несиммет­ричную трехфазную систему (рис. 25, а), в которой по сравнению с симметричной сохраняется только порядок следования фаз, отмеченный стрелкой; численные значе- 58

ния напряжений неодинаковы; углы сдвига фаз между векторами *UA, UB, Uc* существенно отличаются от 120°. Положение этих векторов, показанных исходящими из, одной точки, устанавливается по векторной диаграмме двигателя (см. рис. 19, а).

Геометрическая сумма напряжений первых двух фаз дает линейное напряжение *UAb,* равное напряжению сети:



Рис 24. Схема асинхронного конденсаторного двигателя — преобра­зователя фаз:

*И* — напряжение питающей сети; *U U &* — напряжения статорных об­

моток двигателя; ***1^, I***—токи статорных обмоток; ***1*** —ток конденса­тора; ***U„, UK,*** ^—напряжения фаз нагрузки; Л. Л, Л — токи фаз нагрузки ***U> U*** С\* U О V



Рис. 25. Векторные диаграммы напряжений конденсаторного двига­теля:

а —фазные напряжения; б —линейные напряжения; в—фазные и линейные напряжения

С другой стороны (см. рис. 24), геометрическая сум­ма двух других линейных напряжений также равна на­пряжению сети:

Таким образом, векторы линейных напряжений обра­зуют замкнутый треугольник (рис. 25,6). Построив внут­ри него векторы фазных напряжений, получим вектор­ную диаграмму напряжений конденсаторного двигателя (рис. 25, *в)* с соединением обмоток статора звездой.

Векторная диаграмма напряжений в цепи приемников трехфазного тока приведена на рис. 26. Установим соот­ношения для фазных напряжений *Ua, Ut>, Uc* нагрузки.

Рис. 26. Векторная диаграмма фаз­ных и линейных напряжений симмет­ричной нагрузки

Сумма токов линейных проводов равна нулю:

Ш + (33)

или, если представить токи в виде произведения напря­жений на соответствующие проводимости,

+ + = <34)

где *Ya, Yb, Yc —* комплексные проводимости фаз нагрузки.

С комплексными величинами по существу мы уже встречались при построении векторных диаграмм (см. § 11). Положение вектора на плоскости (называемой комплексной) определяется его проекциями на взаимно перпендикулярные оси — *Ох и Оу.* Условимся первую на­зывать осью вещественных, вторую — осью мнимых чи­сел. В комплексном выражении

*А — ах* + /я2, где *А —* вектор (комплексное число); щ — его проекция на ось *Ох;* а2 — проекция вектора на ось *Оу;* / — ком­плексный множитель (мнимая единица), причем

Очевидно, что численное значение комплексного чис­ла (его модуль) выражается на комплексной плоскости гипотенузой прямоугольного треугольника, катеты кото­рого равны проекциям на оси *Ох* и *Оу.* В данном случае модуль *а* комплексного числа *А* равен:

а = 4- д2.

Комплексное число, отличающееся от данного толь­ко знаком перед мнимой частью, называется сопряжен­ным.

Пример. Написать выражение для комплексного числа (комп­лекса) *В,* сопряженного с комплексом *А.*

По определению имеем:

B=Oi—/а2.

Заметим, что в частном случае одно из слагаемых правой части равенства комплексного выражения может отсутствовать. Это указывает на расположение вектора по одной из осей координат *(Ох* или *Оу).*

Пример. Выражения для комплексов тока и напряжения имеют вид /=/20, //=220 В. Определить положение векторов на комплекс­ной плоскости и найтн их числовые значения.

В данном случае вектор тока совпадает с осью *Оу* (проекция на ось вещественных чисел равна нулю), а вектор напряжения — с осью *Ох.* Числовые значения: /=20 А, //=220 В.

Рассмотрим некоторые действия над комплексными числами.

При сложении комплексных чисел суммируются от­дельно их вещественные и мнимые части.

Пример. Найти сумму двух комплексных чисел: D=12+/10 и Л= 8-/25.

~ Ответ: *D* + Л= (12 + 8) +/ (10—25) = 20—/15.

Умножение комплексных чисел производят по обыч­ной методике.

Пример. Найти произведение комплексов G=3+/5 и //=3—/5<

Находим: *GH=* (3+/5) (3—/5) =9+/15—/15+25=34, т. е. произ­ведение сопряженных величин дает вещественное число.

Для получения частного от деления двух комплексных чисел необходимо избавиться от мнимой части в знаме­нателе.

Пример. Найти комплексную проводимость фазы, если комплекс­ное сопротивление последней равно: Z=7,5+/22,3.

Комплексная проводимость обратна комплексному сопротивле­нию, поэтому

у 1 1 7,5 —/22,3

2 ~ 7,5 4-/22,3 7,5 —/22,3 или

7,5 — /22,3

Г = — 1—— = 0,0136 — /0,04.

- 7,5? 4- 22,32 ’ ' ’

Модуль комплексной проводимости равен:

*у* = К0,01365 4- 0,04? = 0,042 См.

Вернемся теперь к соотношению (34) и разрешим его относительно напряжения первой фазы нагрузки t7o.

Из рассмотрения векторной диаграммы рис. 26 сле­

дует:

*= У а + Ч.АС-*

(35)

После подстановки в (34) значений фазных напряже­ний ***Ub*** и ***Uс*** из (35) и преобразований получим:

*U - и-Ав1ь+ЧАсГс
-а V -4-V* Д. *V*

(36)

Аналогичным образом при определении второй фазы используются соотношения

*ua = u-4AS\*

*Uc-Ub-Uev}*

напряжения

(37)

которые нетрудно установить по векторной рис. 26, и, соответственно, при определении третьей фазы:

диаграмме напряжения

*иа = ие~иАс'>*

(38)

В результате совместного решения уравнений (34) и (37) и затем (34) и (38) находим выражения для на­пряжений второй и третьей фаз нагрузки:

(39)

(40)

-ь Ъ+ЪЛЪ ’

и ~ ~АС -а ~ ~СВ **-Ь**

Из (36), (39), (40) следует, что для определения фазных напряжений нагрузки должны быть известны комплексы линейных напряжений и комплексные прово­димости фаз.

Токи нагрузки находятся по соотношениям

*I = и. Y • о Ъ9*

*I = U Y.
 С — с*

Как видно из схемы рис. 24,

*La-L-L^*

где *1 —* ток, потребляемый двигателем из сети.

Для тока первой фазы имеем;

*La^Lb + Lc-*

Токи системы связаны между собой зависимостями *la~ I (1в + 1с}>*

*Lb = Lb + 1>*

*L^Lc-L-*

Сумма токов правой части уравнений обращается в нуль, что находится в полном соответствии с (33).

Выше рассмотрен общий случай трехфазной нагруз­ки, когда комплексные проводимости фаз могли иметь различные произвольные значения — одинаковые или не­одинаковые. Однако наиболее характерной нагрузкой конденсаторного двигателя как преобразователя фаз яв­ляется симметричная нагрузка, для которой

С учетом этого равенства расчетные соотношения (36), (39), (40) приводятся к виду

***TJ и AB + и AC .*** (41)

***-a ~* 3**

*V* ~~^b + ^~~b.. (42)

— 0 о

*U = U-M~4-Cb .* (43)

—o 3

**Пример.** Определить фазные напряжения симметричной нагруз­ки при соединении фаз звездой, если известны комплексы линейных напряжений: *U*лв=220; *Uac—* 110+/190; *Ucb=* ПО—/190.

Расчетными соотношениями для симметричной нагрузки (Уа= = 1'б=Кс) являются (41) — (43). Поэтому

y=J20+110±219L=\_110\_/64.

***— а 3***

*220+110-П9^=110\_*

***-ь*** 3

„ 110 +/190- 110 +/190 \_ ....

-» 3 '

Численные значения линейных напряжений:

*UAB* = 220 В; *U^c = UCB* = ]Л 10? + 190? = 220 В.

Численные значения фазных напряжений:

*U* « 127 В; *U = U,* = 1/1105 + 64? = 127 В.

-с? ’ *—а* —b *г 1*

Из приведенного примера следует, что при численном равенстве линейных напряжений, образующих несим­метричную трехфазную систему *(Uab, Uac, Ucb),* и сим­метричной нагрузке трехфазная система фазных напря­жений (t/o, *Ub, Uc)* становится симметричной (рис. 26).

Векторная диаграмма конденсаторного двигателя как преобразователя фаз при симметричной трехфазной на­грузке приведена на рис. 27. В левой ее части показаны векторы фазных и линейных напряжений двигателя. Эта часть диаграммы рассмотрена выше (рис. 25, в).

При построении векторной диаграммы токов приня­то, что нагрузка на выходе преобразователя имеет ак­тивный характер, поэтому векторы фазных токов \_Лъ *h, Jc* показаны совпадающими по фазе соответственно с напряжениями *Ua, Ub, Uc* (рис. 26).

Ток конденсатора /к опережает напряжение *Ucb =*

*= UK* на угол л/2 рад, а геометрическая сумма токов /к-ф/с дает ток *1С* третьей фазы двигателя. Фазовый угол сдвига фс определяется направлением векоторов *U\_c* и *1\_с.*

Вектор тока\_/в второй фазы двигателя сдвинут отно­сительно напряжения в сторону отставания на угол фз. Геометрической суммой векторов *1в* и *1с* определя­ется значение тока первой фазы *1\_А* двигателя и фазовый угол сдвига фл.



Рис. 27. Векторная диаграмма конденсаторного двигателя — преоб­разователя фаз при симметричной нагрузке

Сложив геометрически векторы токов *h* и /о, нахо­дят значение и фазу полного тока \_/, потребляемого из сети. Заметим, что положение вектора тока 2 на комп­лексной плоскости может быть определено также с ис­пользованием уравнения *1=Jb+Ik—1\_ь-* Коэффициент мощности двигателя в данном случае равен: созф = 0,95. Значение полного тока / меньше тока *1А* первой фазы, '■го объясняется наличием в цепи двигателя источника реактивной мощности — конденсатора.

1. РАБОТА КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

ПРИ УСЛОВИЯХ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ

Наиболее высокие энергетические показатели при эксплуатации конденсаторного двигателя достигаются при соблюдении следующих условий:

1. частота неизменна и равна номинальной (/=/ном);
2. напряжение на выводах машины равно номиналь­ному;
3. токи обмоток не превышают номинальных значе­ний.

Последнее условие применительно к схемам, приве­денным на рис. 9, *в, г,* может быть записано в виде

/г,ф /к.ф *Я? ^Нйм\**

Выполнение последнего равенства обеспечивается правильным выбором рабочей емкости и соответствую­щей нагрузкой на валу двигателя.

Изменение частоты не является сколько-нибудь су­щественным даже в энергосистемах местного значения, поэтому им можно пренебречь.

Непостоянство (снижение) напряжения обычно воз­никает в часы наибольшей нагрузки сети. При этом в значительно большей степени уменьшается вращающий момент, так как для асинхронного двигателя он про­порционален квадрату приложенного напряжения. Так, например, понижение напряжения сети на 30 % вызыва­ет уменьшение момента в 2 раза. В результате такого снижения напряжения двигатель остановится либо будет продолжать вращаться с повышенным скольжением (по­требляя большой ток), что может вызвать недопустимый перегрев статорных обмоток, составляющих главную фа­зу. Отмеченное важное обстоятельство следует иметь в виду, особенно при питании двигателей от электросетей сельских районов с источниками небольшой мощности.

При длительной эксплуатации двигателя с понижен­ным напряжением необходимо производить соответст­вующее уменьшение нагрузки.

К нежелательным последствиям с точки зрения нагре­ва статорных обмоток может привести также несоблюде­ние третьего условия. Действительно, при всякой нагруз­ке, превышающей номинальную, перегружается по току

Рис. 28. Зависимость рабочей емкости от нагрузки

случае электрические потери возрастают в 2 раза по сравнению с потерями при номинальном токе.

главная фаза. То же самое про­исходит с конденсаторной фа­зой, только в случае работы с недогрузкой. На холостом хо­ду ток конденсаторной фазы при выборе рабочей емкости по приведенным выше соотно­шениям достигает 120—140 % номинального. В последнем

Сказанное позволяет сделать следующие выводы:

нельзя допускать длительную перегрузку или дли­тельную работу двигателя без нагрузки;

при работе двигателя с недогрузкой рабочую емкость конденсаторов необходимо уменьшать.

Для нагрузки, составляющей например 50 % номи­нальной, можно принять

Ср

0,85СР,НОМ.

Ток конденсаторной фазы при этом не превышает номинального значения.

Воспользовавшись графиком, представленным на рис. 28, легко определить рабочую емкость конденсаторов для любой произвольной нагрузки. С этой целью, выра­зив полезную мощность Р2 в процентах номинальной мощности *Рном,* находим соответствующее отношение Ср/Ср,ном, а затем и искомую емкость. Так, например, для Р2 = 0,75 Рном отношение Ср/Ср,НОм = 0,93 (см. стрел­ки на рис. 28). Следовательно,

Ср = 0,93Ср,Ном.

Следует отхметить, что номинальные данные асинхрон­ных двигателей относятся ко вполне определенным ус­ловиям их использования. Наиболее существенными из этих условий являются: температура окружающей среды; высота над уровнем моря (до 1000 м).

Допустимые значения температуры окружающей сре­ды устанавливаются техническими условиями. В частно­сти, асинхронные двигатели единой серии 4А могут работать с номинальной мощностью, указанной в их пас­портных данных, на всем диапазоне изменения темпера­туры от —40 до +40 °C.

Влияние высоты над уровнем моря, большей 1000 м, проявляется в том, что вследствие разрежения воздуха условия охлаждения ухудшаются.

Из сказанного вытекает, что при эксплуатации дви­гателей на высоте более 1000 м над уровнем моря или при температуре окружающей среды, превышающей 40 °C, их номинальная мощность должна быть снижена.

1. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Конденсаторный двигатель прост по конструкции, име­ет высокий коэффициент мощности, работает от двух­проводной и, в частности, от осветительной сети.

Как было отмечено, применение рациональных схем включения создает возможность получения достаточного пускового момента и приводит к улучшению использо­вания мощности машины. Одну из таких схем (см. рис. 9, г) будем иметь в виду при дальнейшем изложении.

Несмотря на отмеченные положительные свойства эксплуатация конденсаторного двигателя с рабочей и пус­ковой емкостями характеризуется рядом определенных недостатков. Основные из них заключаются в следую­щем:

для создания необходимого пускового момента при­ходится включать в цепь конденсаторной фазы дополни­тельную емкость, отключаемую после пуска. При разры­ве цепи отключаемой емкости возникающее в месте раз­рыва искрение уменьшает безопасность эксплуатации двигателя, особенно во взрывоопасных помещениях. Кроме того, резкое уменьшение тока конденсаторной фа­зы после отключения дополнительной емкости связано с появлением динамических толчков и уменьшением ускорения ротора, что подтверждается осциллограмма­ми (рис. 29):

описанный выше характер изменения тока конденса­

торной фазы с изменением нагрузки приводит к ухуд­шению использования мощности двигателя и уменьше­нию его перегрузочной способности;

холостой ход конденсаторного двигателя с постоянной рабочей емкостью СР1Ном не только нежелателен, но и опасен, так как ток конденсаторной фазы, достигая в этом случае наибольшего значения, может вызвать не­допустимый перегрев обмотки.

Расширение области применения конденсаторного двигателя непосредственно связано с устранением от­меченных недостатков.



Рис. 29. Осциллограммы, снятые при пуске конденсаторного двигате­ля с отключаемой емкостью:

*1 —* ток главной фазы; *2* — ток конденсаторной фазы; *3 —* частота вращения

Ограничение тока конденсаторной фазы при XX мо­жет быть достигнуто уменьшением емкости конденса­торов. Чтобы далее (с увеличением нагрузки) ток кон­денсаторной фазы увеличивался, необходимо произ­водить увеличение емкости, т.е. осуществлять ее регу­лирование. Желательно, чтобы последнее совершалось плавно и автоматически, начиная с момента пуска дви­гателя.

Автоматическое регулирование эквивалентной емко­сти в цепи конденсаторной фазы возможно различными способами. Один из них основывается на использовании в схеме дросселя насышения (ДН).

Развитие автоматизации производственных процес­сов в промышленности привело к значительному распро­странению *ДН,* что объясняется известными экономиче­скими и эксплуатационными достоинствами этих аппа­ратов.

Рассмотрим схему включения конденсаторного дви­гателя (рис. 30), в которой обмотки переменного тока *ДН* включены на напряжение конденсатора.

Дроссель насыщения имеет две обмотки подмагничи­вания, включенные встречно. Ток одной из них пропор­ционален току главной фазы двигателя, ток другой — напряжению на конденсаторной фазе. Первая обмотка имеет небольшое число витков. Действие МДС этой об­мотки проявляется тем сильнее, чем больше скольжение, т. е. чем больше ток главной фазы.

Рис. 30. Схема включения конден­саторного двигателя с регулируе­мой эквивалентной емкостью:

*1* — конденсатор; *2 —* обмотка перемен­ного тока дросселя насыщения; *3 —* обмотки подмагничивания; *4* — транс­форматор напряжения; *5 —* выпрями­тели

Вторая обмотка подмагничивания с большим числом витков является основной. Действие МДС этой обмотки, наоборот, проявляется тем сильнее, чем меньше сколь­жение, что объясняется характером изменения напря­жения на конденсаторной фазе с изменением нагрузки.

В первый момент пуска переменный ток *ДН* должен быть возможно малым. Очевидно, что при равенстве МДС обмоток подмагничивания он будет равен току холостого хода дросселя.

Соблюдение равенства МДС обмоток подмагничива­ния достигается благодаря тому, что по главной фазе двигателя проходит наибольший (пусковой) ток, а на­пряжение на конденсаторной фазе в момент пуска при­близительно в 2 раза меньше напряжения по окончании пуска. В результате ток на выходе параллельного участ­ка, образованного конденсатором и обмотками перемен­ного тока *ДН,* т. е. ток конденсаторной фазы, достигает своего наибольшего значения, определяемого установлен­ной емкостью. Незначительным током первичной обмот­ки трансформатора напряжения здесь можно пренебречь.

По мере увеличения частоты вращения двигателя воз­растает результирующая МДС подмагничивания, вызы­вая насыщение дросселя. Переменный ток *ДН* при этом увеличивается, а ток конденсаторной фазы уменьшается. При холостом ходе двигателя результирующая МДС подмагничивания *ДН* достигает наибольшего значения, вследствие этого ток конденсаторной фазы становится наименьшим.

Каким же становится характер изменения тока кон­денсаторной фазы после пуска двигателя в ход? Ток конденсаторной фазы, как вытекает из изложенного, становится функцией результирующей МДС подмагни­чивания дросселя. Так, увеличение нагрузки на валу двигателя вызывает уменьшение результирующей МДС подмагничивания *ДН,* отчего переменный ток дросселя уменьшается, а ток конденсаторной фазы возрастает. Уменьшение нагрузки приводит к обратному результа­ту, т. е. к уменьшению тока конденсаторной фазы. Заме­тим, что ток конденсатора и ток обмоток переменного тока *ДН* находятся практически в противофазе, так как активные составляющие этих токов пренебрежимо ма­лы. Поэтому значение тока конденсаторной фазы всегда определяется арифметической разностью токов регули­рующего устройства:

4,ф *~ ^к~~ >*

где /к — ток конденсатора; 7дН— ток обмоток перемен­ного тока *ДН.*

Из последнего выражения следует, что соответствую­щее изменение, тока /дн равносильно применению в цепи конденсаторной фазы плавно регулируемой экви­валентной емкости.

Для иллюстрации на рис. 31 представлены механиче­ские характеристики двигателя мощностью I кВт, полу­ченные опытным путем. Кривая *1* относится к схеме с пусковой и рабочей емкостями (см. рис. 9, а). Кривая *2* относится к схеме рис. 30. Как видно, пусковой момент двигателя для данной емкости конденсатора остается практически одним и тем же в обоих случаях. На участке от л2=0 до 1000 об/мин кривая *2* проходит несколько ни­же *1, что обгоняется* уменьшением эквивалентной ем­кости с возрастанием переменного тока *ДН.*

Отключение пускового конденсатора в случае исполь­зования в цепи конденсаторной фазы отключаемой ем­кости (см. рис. 9, *г)* резко уменьшает вращающий мо­мент (вертикальный участок кривой /).

Для двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 30, наоборот, характерны плавный пуск двига­теля, увеличенная перегрузочная способность и работа ■при данной нагрузке на валу с несколько меньшим скольжением.

Рис. 32. Электровоз подвесной до­роги с конденсаторным двигате­лем:

Рис. 31. Механическая характе­ристика конденсаторного двигате­ля

J — двигатель; *2 —* реверсивный маг­нитный пускатель; *3 —* коробки с кон­денсаторами; *4* — кожух дросселя на-' сыщения; *5 — кнопочная станция для* ручного управления

Приведем пример применения конденсаторного дви­гателя, включенного по схеме, показанной на рис. 30, в условиях электрической тяги. Целесообразность ис­пользования асинхронного конденсаторного двигателя в электрической тяге подтверждается следующим: дви­гатель имеет жесткую скоростную характеристику, вслед­ствие которой средняя частота вращения лишь на не­сколько процентов отличается от синхронной. Таким образом, буксование при движении ограничивается;

при сверхсинхронной частоте вращения (движение под уклон) машина автоматически переходит *в* генера­торный режим, производя тормозное действие; как кон­денсаторный— двигатель работает с высоким коэффи­циентом мощности.

Опытный образец электровоза подвесной дороги **с** конденсаторным двигателем показан на рис. 32. Дви­гатель электровоза мощностью 1 кВт, 127/220 В вклю­чен по схеме, приведенной на рис. 30, на напряжение сети 220 В.

Контактный провод (полосовая сталь 6X30 мм) кре­пится на изоляторах. Вторым проводом служит зазем­ленный рельс. Управление электровозом возможно как ручное (кнопочная станция реверсионного магнитного пускателя), так и автоматическое с помощью конечных выключателей, установленных в пунктах отправления и выгрузки. Полезная масса состава 0,6 т.

Таким образом, одним из способов улучшения эксп­луатационных свойств конденсаторного двигателя явля­ется применение регулируемой емкости. Плавное и ав­томатическое изменение эквивалентной емкости с изме­нением скольжения проще всего достигается с помощью дросселей насыщения.

Конденсаторный двигатель с плавно регулируемой эквивалентной емкостью имеет следующие достоинства: пуск происходит без переключений в цепи конденса­торной фазы и динамических толчков, неизбежных при пуске с отключаемой емкостью;

уменьшается ток холостого хода конденсаторной фа­зы;

улучшается использование мощности вследствие воз­растания тока конденсаторной фазы при увеличении на­грузки на валу;

увеличивается перегрузочная способность.

Конденсаторный двигатель, включенный по схеме **с** автоматически регулируемой эквивалентной емкостью, бесконтактной и искробезопасной, может найти приме­нение в электрической тяге, а также в стационарных установках небольшой мощности.

**Пример.** *Расчет дросселя насыщения и выбор емкости конден­саторов.*

Исходные данные: напряжение источника питания {/—220 В; двигатель асинхронный, трехфазный с короткозамкнутым ротором, мощностью 1,1 кВт, 220/127 В, 1420 об/мин; КПД = 0,75, cos (р=0,81, кратность пускового тока й=5; сталь сердечника ДН электротехни­ческая марка Э411, штамп имеет размеры, показанные на рис. 33;

Рис. 33. Сердечник дросселя насы­щения:

■Рном

а=25 мм; 6=32 мм; с=154 мм; й“ = 210 мм; 6; = 160 мм; <7=40 мм

схема включения двигателя по рис. 30; соединение обмоток пере­менного тока ДН — параллельное.

Обмотки переменного тока ДН располагаются на крайних стерж­нях Ш-образного сердечника, об­мотки подмагничивания — иа сред­нем стержне. Сердечник ДН пока­зан на рис. 33.

1. Емкость батареи конденсаторов принимаем предварительно равной

1,1.10я

Л; ом — .— - —

*V* 3 *и* cos <рном Т|ном У 3-220 .0,81-0,75

= 4,75 А.

4,75

*С* = 2,55Ср>ноМ = 2,55-2740-— = 152 мкФ,

где рабочая емкость определяется по (15)

1. Напряжение на параллельном участке, образованном обмот­ками переменного тока ДН и батареей конденсаторов при номиналь­ном режиме работы,

*UK = kuU* = 1,1-220 = 240 В,

где *ku —* коэффициент, значение которого для данной схемы включе­ния двигателя принимается равным 1,1.

Заметим, что это напряжение иа всем диапазоне изменения скольжения двигателя изменяется настолько незначительно, что с до­статочной для практики точностью может быть принято постоянным,

1. Ток батареи конденсаторов

*lK = kc ku UatC-IQ-^* 1,15-1,1-220-314-152-10—« = 13,2 А,

где *kc —* опытный коэффициент, учитывающий отклонение действи­тельной емкости от обозначенной; <о — угловая частота, равная для частоты 50 Гц 314 1 /с; С—емкость конденсаторов, мкФ.

1. Пренебрегая потерями в ДН и конденсаторах, а также сдви­гом фаз между токами конденсаторной фазы и первичной обмотки трансформатора напряжения, находим значение переменного тока ДН в номинальном режиме работы двигателя:

^ДНном (Лс.ф.ном Н- Л ТНном)>

где 7к,Ф,вом=7ном — номинальный ток конденсаторной фазн;/1ТНноы— ток первичной обмотки трансформатора напряжения при 17к,ф=17ном.

Принимая /1ТНиом =0,45 А, получаем:

Едином ~ 13,2 — (4,75 + 0,45) = 8 А,

что соответствует току одной обмотки переменного тока ДН

***г'*** — Едином 8\_ \_\_ л д

'ДНиом 2 2 ~~

1. Задавшись плотностью тока 6=2,25 А/мм2, находим площадь поперечного сечения провода:

Для выполнения обмоток переменного тока ДН используем про­вод ПБД с диаметром di = l,5 мм и толщиной изоляции 0,3 мм (на обе стороны).

1. Площадь Qi, занятую обмоткой переменного тока ДН, при­нимаем равной 40 % площади окна *Q:*

Qi = 0,4Q.

Исходя из ширины и высоты площади Qi, находим число витков обмотки переменного тока ДН:

*= tri\ п\ >*

где *mi—*число слоев обмотки переменного тока; *П\—* число витков в слое. В данном случае *т.\=7,* «1 = 82, откуда

*т~ = Шх* nt == 7-82 = 574.

1. Расстояние Ьц занятое обмоткой переменного тока по ширине окна:

а) обмотка 1,8-7=12,6 мм;

б) изоляционные гильзы 0,5-2= 1 мм;

в) междуслойная изоляция 0,1-7=0,7 мм

Всего 51=14,3 мм.

1. Площадь поперечного сечения магнитопровода для перемен­ной составляющей магнитного потока, м2,

 *kuU*

*4,44fw^\_ Втах*

Принимая *Втах—* 1,2 Тл, получаем:

1,1-220

*Q„ = —-* — =» 0,0016 м2 = 16 см2.

“ 4,44-50-574-1,2

1. Толщина пакета определяется из выражения

Qa 16 « л

*е =* = =6,4 см.

*а* 2,5

1. Число витков основной (большой) обмотки подмагничивания находим, принимая, что площадь *Q2,* занятая обмоткой, составляет 40 % площади окна. Для выполнении обмотки используем провод ПБД с диаметром 1 мм и толщиной изоляции 0,3 мм (на обе сто­роны).

С учетом размеров площади *Qi* находим:

/па = 9, п2 = 108,

что соответствует числу витков:

щу2 = *т2 п2* = 9-108 = 972.

12 Расстояние, занятое обмоткой по ширине окна:

а) обмотка 1,3-9= 1,7 мм;

б) изоляционные гильзы 0,5-2= 1 мм

' Всего Ь2=12,7 мм.

1. Сопротивление основной обмотки управления при температу­ре иагрева *t2*

*^2 =* /?у2[1+аС2~/1)]’

здесь a — температурный коэффициент (для меди а=0,004); Ру2 — сопротивление обмотки при *(\ = 20 °C:*

4с р *Wf2*

У2“ Wy2 ’

где 4ср — средняя длина витка; у — удельная электрическая прово­димость меди; ^у2 — площадь поперечного сечения провода обмотки.

Рис. 34. Совместное графическое решение уравнения схемы ***Втах—*** =const и характеристик намагни­чивания В ~,пгах ***f №—max\**** Ну) дросселя насыщения

Подставив значения =» = 0,28 м, 0>у2 = 972, у=58 м/(ОмХ Хмм2), <7,2=0,785 мм2, получим:

***Ry2*** = 6,2 Ом.

Сопротивление обмотки с уве­личением температуры возрастает. Так, например, при /2 =100 °C

/?у2 = 6,2 [1 +0,004 (100 — 20)] =

= 8,16 Ом.

1. Для принятой схемы включения двигателя выполняется ус­ловие 7/к=77дН= const или соответственно

***Втах*** — const.

Совместное графическое решение уравнения схемы (Bmax=const) и характеристик намагиичиваиия ДН (рис. 34) позволяет найти за­висимости переменной составляющей напряженности мапштного поля от постоянной составляющей

*Н<~тах ~ f (Ну)*

и переменного тока ДН от тока управления

**<ДН = T (zу).**

Токи и соответствующие им напряженности пропорциональны, **А/м,**

*и W~*

*л^шах —* . t где *lo,* — средняя длина силовой линии для постоянной и перемен­ной составляющих магнитного потока, м (рис. 33); шу, *w\_~—*числа витков обмотки управления и обмотки переменного тока ДН соот­ветственно.

Характеристики намагничивания получают экспериментально для данного образца ДН при одновременном намагничивании сер­дечника постоянным и переменным током. Каждая кривая (рис. 34, а) соответствует определенному значению постоянной составляю­щей напряженности магнитного поля, например, для первой из них Ду=0 (ток /у=0), для второй Ду=1000 А/м (/у=0,5 А) и т. д. Пе­ременное напряжение при снятии характеристик увеличивают, начи­ная с нуля, а ток /у поддерживают постоянным, давая ему опреде­ленные значения, например 0, 0,5, 1, 1,5 А и т. д

По точкам пересечения кривых намагничивания с прямой *Втах—* = const получают зависимость *Н ~max=f (Ну)* или, в других масшта­бах, *1дН=((1у)* Построение последней показано на рис. 34,6.

1. Число витков малой обмотки управления шу1 находят из ус­ловия равенства МДС при пуске двигателя:

7у1п №yi = *1угп* ffi,y2>

где /У1п, /У2п — токи малой и основной обмоток подмагничивания при пуске.

Пусковой ток основной обмотки управления пропорцноналеи на­пряжению на конденсаторной фазе при пуске — 1/к,ф,п. Для данной схемы включения двигателя ^«.Ф.п^О.б Т^.ф.ном Тогда

 —^к,ф,п , п .

*‘угп—* '-Оу.иом— и>оО/У1Ном.

Ык.ф.ном

где /у,ном — ток управления, найденный из графика (рис.

34, 6) для номинального тока ДН; *b —* коэффициент, учитывающий увеличение тока основной обмотки управления по сравнению с то­ком /у,ном при номинальном режиме, обусловленное размагничиваю­щим действием малой обмотки подмагничивания; его значение мо­жет быть принято равным *Ь=* 1,05.

Из рис. 34, б для номинального тока ДН 1днном= А нах°днм 7у.ном~2 А. Тогда

/у2П = 0,5-1,05-2 = 1,05 А.

Кратность пускового тока *k'* главной фазы двигателя меньше кратности *k* при трехфазпом включении, что объясняется наличием в цепи фазы малой обмотки управления и выпрямительных элемен­тов. Принимаем £'=0,75 *k.*

Пусковой ток малой обмотки управления

/уш *— к* Люм,ср> где /ном,ср — среднее значение тока обмотки при номинальной на­грузке;

*2V2*

*/vln — 0,75k* /ном = 0,75-5-0,9-4,75 = 16 А,

л

Число витков малой обмотки управления составит:

/уоп 1,05

ttiyi = *Wy2 —* — 972 — = 64.

/у1П 10

1. Площадь поперечного сечения провода малой обмотки уп­равления

2^2 /ном 4,75

?V1 = — =0,9 — =1,9 мм2.

у л *б* 2,25

Для выполнения обмотан выбираем провод ПБД с диаметром 1,5 мм и площадью поперечного сечения 1,77 мм2. При этом плот­ность тока в обмотке составит:

б==2Ка 2ном\_ = 0 9\_Ы£ = 2>4з а/мм2.

л ?У1 1,77

Толщина изоляции (на обе стороны) составляет 0,3 мм. Обмотка размещается в одном слое.

17 Расстояние *Ь3,* занятое малой обмоткой управления по ши­рине окна:

а) провод с изоляцией 1,8-1 = 1,8 мм;

б) кембрик 0,1-1=0,1 мм;

в) изоляционная гильза 0,5-1=0,5 мм

Всего Ь3—2,4 мм

1. Расстояние, занятое обмотками по ширине окна:

бд = *bt + Ь2 +* = 14,3 + 12,7 + 2,4 = 29,4 мм прн ширине окна 6 = 32 мм.

1. Расчетное значение воздушного зазора между обмотками постоянного и переменного тока

*b& — b —* 6fl = 32 — 29,4 = 2,6 мм.

Сопротивление малой обмотки подмагничивания при 20 °C

, IjcnKiyi 0,36-64

^ = '^=^Т7Г==0’23 См>

Для рабочей температуры нагрева 100 °C

Яу1 = ^yj [1 + а (100 — 20)] = 0,23(1 + 0,004-80) = 0,304 Ом.

1. Расчет МДС подмагничивания ДН при различных режимах работы двигателя.

Результирующая МДС подмагничивания определяется разно­стью МДС обмоток управления:

*F~Fa-Ft* илн

*F* = / У2 ®У2 7 уI *Wyt ■*

Это выражение справедливо для любого режима работы ма­шины.

**При пуске двигателя в ход** МДС обмоток управления равны:

*Ft = Iyittwyl* = 0,75-5-0,9-4,75-64 = 1022 А;

*Р2* = /у2ц Шу2 = 0,5-1,05-972 = 1020 А

и, следовательно, результирующая МДС 7 ~0.

**Номинальный режим:**

**2 1^2**

*Fi = Iyi wyl =* —-— /ном te>yl = 0,9-4,75-64 = 272 А;

*F2 —* /у2аУ2 = 6/у,номИ'уа = 1,05-2-972 = 2040 А, что соответствует результирующей МДС

Р = 2040 —272 = 1768 А.

**Режим холостого хода:**

2 *V2*

*Fi = Iyi* = —-— /о wyl = 0,9-2,8-64 = 161 A.

В этом выражении /0 — ток холостого хода двигателя.

Напряжение конденсаторной фазы в режиме холостого **хода** принимаем равным

ф ~ 1,181/к.ф.ном >

поэтому

Р2 = /у2щу2= l,18Wy,HOMWy2— 1,18-1,05-2-972 = 2410 А.

Результирующая МДС f=2410—161=2249 А.

Таким образом, результирующая МДС подмагничивания **ДН** возрастает от нуля при пуске до наибольшего значения в режиме холостого хода, что соответствует описанному выше характеру **из­**менения тока конденсаторной фазы с изменением скольжения.

1. Выбор диодов для выпрямителей.

Диоды для выпрямительных мостиков схемы выбирают по зна­чению допустимого обратного напряжения и допустимому среднему току.

Расчет обратного напряжения производят по формуле

^обр = /у /?у + А{/,

*где* /у—прямой ток цепи управления (среднее значение); /?у — со­противление цепи управления при расчетной температуре; Д<7 — прямое падение напряжения на диоде (среднее значение).

а) Малая обмотка управления.

Расчетными величинами являются пусковой ток главной фазы и сопротивление обмотки при *100 °C:*

*Uo6p* == Zyin X Ryi +At/= (16-0,304+ 1,5) =6,35 В.

Выбираем диоды кремниевые типа Д242 на ток 10 А с обрат­ным напряжением t/oepm«= 100 В. Диоды допускают тройную пере­грузку по току в течение 0,5 с.

б) Основная обмотка управления.

Сопротивление обмотки при 100°С /?у2=8,160м.

Сопротивление *Rp* регулировочного реостата в цепи обмотки уп­равления принимаем равным 4 Ом.

Расчетным током является ток обмотки (среднее значение) в ре­жиме холостого хода двигателя:

/у2х = 2-1,05-1,18 = 2,48 А.

Обратное напряжение

***Уобр = + RP) +*** = 2,48-12,16 + 1,5 = 31,9 В.

Выбираем диоды типа Д242Б с допустимым током 5 А (среднее значение) и обратным напряжением (/обртах=Ю0 В.

1. Выбор емкости конденсаторов.

Емкость батареи конденсаторов при включении двигателя по схеме рис. 30 остается постоянной. Поэтому выбор ее производят по (16), исходя из изложенных выше соображений получения необхо­димого пускового момента.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В УСТРОЙСТВАХ УПРАВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Полупроводниковые приборы получили большое рас­пространение в радиосвязи, автоматизированном элект­роприводе, в телевизионных устройствах и телемеханике, электронных устройствах атомной и ракетной техники, в медицине, физике, металлургии и т. д.

По сравнению с электронными лампами они облада­ют рядом существенных преимуществ, основными из ко­торых являются: 1) отсутствие цепей накала, что дает весьма значительную экономию электроэнергии источни­ков питания; 2) малая масса и малые габариты; 3) вы­сокая эксплуатационная надежность; 4) большой срок службы (до десятков тысяч часов); 5) механическая прочность, нечувствительность к сотрясениям и ударам.

Отмеченные достоинства полупроводников и обусло­вили широкое их применение в различных областях науки и техники.

Схема конденсаторного двигателя, ос­нованная на использовании полупровод­никовых приборов, показана на рис. 35.



Рис 35. Схема включения конденсаторного двигателя с регулятором эквивалентной емкости на полупроводниковых приборах:

*Т1 —* трансформатор тока; *ИС —* источник сигнала; *ФМ—* фазовращательиый мост; *ТС —* трансформатор согласования; *ММ* — магнитный мультивибратор; *Tl, Т2, —* тиристоры, *С—*емкость конденсаторной фазы; *L—*индуктивность линейного дросселя, *ТП* — трансформатор питания (через выпрямители) муль­тивибратора и системы регулирования эквивалентной емкости конденсатор­ной фазы

В силовую часть схемы входят статорные обмотки двигателя, конденсатор, линейный дроссель и тиристо­ры. Последние соединены между собой встречно-парал­лельно, а последовательная цепь, образованная обмот­кой дросселя и тиристорами, включена параллельно конденсатору.

Емкость конденсатора не изменяется, т. е. выполняет­ся условие

*С ~* const.

Фаза Л—*х* является конденсаторной. Две другие статор­ные обмотки (фазы *В—у* и *С—z),* соединенные последо­вательно, образуют главную фазу, включаемую на на­пряжение *U* сети.

Баланс напряжений, действующих в цепи конденса­торной фазы, описывается уравнением (28а).

Ток конденсаторной фазы равен геометрической сум­ме токов конденсатора и дросселя:

*La* = 4,ф = 4 + *Lu*

где /к — ток конденсатора; *IL—* ток дросселя.

Если пренебречь потерями в конденсаторе и дроссе­ле как несущественными, то он будет определяться ариф­метической разностью этих токов:

4 = 4“ 4- причем по условию сдвига фаз между токами главной и конденсаторной фаз на угол, равный или близкий к 90° (см. векторную диаграмму рис. 22), должно быть выполнено неравенство

4 > *II-*

Ток конденсатора постоянной емкости остается прак­тически постоянным:

/к » const.

Следовательно, необходимого изменения тока конден­саторной фазы с изменением нагрузки двигателя можно достигнуть путем соответствующего регулирования тока дросселя. Возникающее при этом изменение разности токов (7к—*h)* аналогично регулированию эквивалент­ной емкости конденсаторной фазы.

Очевидно, что с возрастанием нагрузки ток дросселя должен уменьшаться и, наоборот, увеличиваться, когда нагрузка уменьшается. Тогда по характеру изменения тока конденсаторная фаза не будет отличаться от глав­ной фазы.

Оптимальному режиму регулирования соответствует равенство токов

4 = 4,ф = 4. ф

при любой произвольно взятой нагрузке.

Из изложенного вытекает, что по идее регулирования эквивалентной емкости конденсаторной фазы схемы, приведенные на рис. 30 и 35, аналогичны. Однако они принципиально отличаются друг от друга по способу воздействия на ток дросселя. Если в схеме рис. 30 пере­менный ток дросселя насыщения зависит от режима под­магничивания сердечников, то в рассматриваемой схеме действующее значение тока дросселя является функци­ей угла сдвига фаз управляющих прямоугольных сигна­лов, подводимых к тиристорам, относительно напряже­ния *UK* на конденсаторе.

Рис 36. Графики, поясняющие процесс регули­рования тока дросселя с помощью тиристоров: *а* — синусоидальные кривые изменения напряжения конденсатора и тока дросселя; *б —* зависимости пря­моугольных управляющих импульсов напряжения, подаваемых иа вход тиристоров при фазовом уг^е сдвига 6= [ГУК; ==90°; *в —* то же при 9О°<0<18О°; г — то же при e=0f' = 18O'°

Будем по-прежнему полагать, что потери в конденса­торе и дросселе отсутствуют. При этом допущении ток дросселя будет отставать от приложенного к нему на­пряжения по фазе на 90 °. Синусоидальные кривые на­пряжения на конденсаторе и тока дросселя показаны на рис. 36. По этим кривым, построенным в определенном масштабе, нетрудно определить значение напряжения *UK* на конденсаторе или тока *iL* дросселя для любого момента времени.

Обозначим угол сдвига фаз управляющих прямо­угольных импульсов относительно напряжения на кон­денсаторе через 0 и рассмотрим зависимость тока дрос­селя от этого угла применительно к следующим случа­ям: а) 0 = 90°; б) 90°<е<180°; в) 0 = 18О° = 0".

На вход тиристоров *Т1* и *Т2* поочередно подаются управляющие импульсы напряжения мУ1 и соответствен­но Иу2-

Ток дросселя, управляемый с помощью тиристоров, будет несинусоидальным. Но периодически изменяю­

щуюся функцию времени с несинусоидальной формой кривой, как известно из электротехники, можно пред­ставить в виде суммы составляющих синусоид, из кото­рых определяющее значение имеет первая (основная) гармоника. Ее мы и будем иметь в виду при дальнейшем изложении.

**Случай а).** Управляющие импульсы напряжения дол­жны быть сдвинуты по фазе относительно напряжения *ик* в сторону отставания на 90 °, что иллюстрируется кривыми, приведенными на рис. 36, *а, б.*

Как видно, в момент прохождения напряжения пк через положительный максимум на вход тиристора *Т1* подается управляющий импульс напряжения нУ1 и этот тиристор открывается. По обмотке дросселя проходит ток *iL* в течение всего положительного полупериода.

Когда напряжение нк, изменяясь, достигнет наиболь­шего отрицательного значения, на вход тиристора *Т2* подается управляющий импульс напряжения пу2 и этот тиристор открывается. В тот же момент времени пре­кращается подача импульса напряжения uyi. Тиристор *Т1,* оказавшись под воздействием обратного напряже­ния, закрывается. По обмотке дросселя в течение всего отрицательного полупериода проходит ток

Затем, как только напряжение *ик* вновь достигнет положительной амплитуды, откроется тиристор *Т1,* ти­ристор *Т2* закроется и т. д.

Таким образом, при сдвиге управляющих прямо­угольных сигналов относительно напряжения *ик* в сто­рону отставания на 90 0 по обмотке дросселя проходит ток в течение всего периода, а амплитуда тока дросселя достигает наибольшего значения.

Индуктивное сопротивление дросселя (по первой гармонике) имеет минимальное значение: где *1ц\) —* действующее значение основной гармоники тока дросселя. ‘Из сказанного следует, что углу сдвига фаз 0 = 90° соответствует наименьшее значение тока конденсаторной фазы.

**Случай б).** Угол 9 может, например, принять значе­ние, приведенное на рис. 36, *в.*

В момент подачи управляющего импульса напряже­ния «у] на вход тиристора *Т1* (см. рис. 35) этот тирис-

тор открывается и по обмотке дросселя начинает про­ходить ток *i'L* в положительном направлении.

При прохождении напряжения пк через нулевое зна­чение ток *i'L* достигает наибольшего значения и далее начинает уменьшаться.

Вследствие того, что управляющие сигналы, подавае­мые на вход тиристоров, сдвинуты по фазе на 180°, че­рез полпериода напряжения пк включится тиристор *Т2* и по обмотке дросселя пойдет ток *i'L* в обратном (отри­цательном) направлении. Затем еще через полпериода напряжения *ик* включится тиристор *Т1* и направление тока *i'L* изменится на обратное и т. д.

Очевидно, что по мере увеличения угла 0 от 90 до 180° амплитуда первой гармоники тока дросселя будет все более уменьшаться, а ток конденсаторной фазы воз­растать. Следовательно, с увеличением нагрузки на ва­лу машины необходимо осуществлять увеличение угла 0 в пределах от 90 до 180 °.

Предельному случаю, при котором угол 0 принимает значение 0"=18О°, соответствуют кривые рис. *36, г.* Управляющий импульс напряжения *иу\* подается на вход тиристора *Т1,* когда напряжение *ик,* изменив свой знак, начинает увеличиваться в отрицательном направ­лении. Тиристор оказывается под воздействием обрат­ного напряжения и не открывается.

Через полпериода будет подан управляющий импульс напряжения *иу2* на вход тиристора *Т2.* Этот тиристор также окажется под воздействием обратного напряже­ния и не откроется.

Условию 0 = 0" =180° соответствует равенство

*IА* **А<,ф Л’**

так как цепь дросселя остается разомкнутой.

Итак, для ограничения тока дросселя с увеличением нагрузки двигателя необходимо увеличивать угол 6 от 90° до значения, соответствующего приложенной на­грузке.

Схема регулирования, обеспечивающая указанный характер изменения угла 0, обычно включает в себя следующие элементы (см. рис. 35): аь

Рис. 37. Схема магнитного мульти вибратора

1. магнитный мультивиб­ратор Л1М, преобразующий синусоидальное напряжение в прямоугольное (для уп­равления тиристорами) и усиливающий мощность уп­равляющих сигналов;
2. фазовращательный мост *ФМ* для изменения фа­

зы выходного синусоидального напряжения относитель­но напряжения *UK;*

1. трансформатор согласования *ТС* параметров вы­ходной цепи фазовращательного моста с параметрами входа мультивибратора;
2. измерительный элемент *ИЭ,* измеряющий ток главной фазы двигателя и осуществляющий воздейст­вие на систему в нужном направлении для изменения тока дросселя в соответствии с изменением тока главной фазы;
3. устройство для обеспечения начального значе­ния угла 0 (при минимальном значении тока главной фазы).

Мультивибратор *ММ* (рис. 37) состоит из двух тран­зисторов *Tl, Т2,* включенных по схеме с общим эмитте­ром, и трансформатора *Т,* имеющего четыре первичные и две вторичные обмотки.

Рассмотрим принцип действия мультивибратора. Пусть ЭДС источников сигналов и е"с направлены, как показано на рис. 37, сверху вниз, причем потенциал базы транзистора *Т1* по отношению к потенциалу эмит- тера становится отрицательным. Транзистор *Т1* откры. вается. В то же время транзистор *Т2* закрыт, так как на его базу подается положительный по отношение к эмиттеру потенциал.

В контуре плюс источника питания эмиттер тран­зистора *Т1 —* коллектор — первичная обмотка транс­форматора *Т —* минус источника питания возникает то^

создающий в сердечнике магнитный поток. С изменени­ем магнитного потока в обмотках трансформатора *Т* на­водятся ЭДС, обозначенные на рис. 37 пунктирными стрелками.

Под влиянием ЭДС вторичной обмотки мульти­вибратора по сопротивлению нагрузки, не показанному на рис. 37, потечет ток г2.

Как видно, ЭДС первичных обмоток мультивибрато­ра, включенных в цепи баз е'с и е'ос, имеют направление, при котором на базе транзистора *Т1* поддерживается от­рицательный потенциал, а на базе транзистора *Т2* — по­ложительный. Таким образом, эти обмотки выполняют функцию положительной обратной связи.

С изменением знака ЭДС источников сигналов, а именно, когда потенциал базы транзистора *Т2* по от­ношению к потенциалу эмиттера станет отрицательным, а потенциал базы транзистора 7/ по отношению к потен­циалу эмиттера — положительным, произойдет переклю­чение транзисторов. Во втором полупериоде входного напряжения мультивибратора открывается транзистор *Т2,* а транзистор *Т1* закрывается. В следующем полупе­риоде транзисторы поменяются выполняемыми функция­ми и т. д. Таким образом, транзисторы мультивибратора и обмотки, включенные в коллекторные цепи транзисто­ров, работают по полупериодам. Частота переключения транзисторов определяется частотой входного напряже­ния.

На выходе мультивибратора формируется переменное напряжение прямоугольной формы, т. е. мультивибратор преобразует синусоидальное напряжение в прямоуголь­ное и, кроме того, усиливает мощность управляющих сиг­налов. Возможность получения кривой выходного напря­жения с достаточно крутым фронтом обеспечивается применением ферритового сердечника с прямоугольной формой петли гистерезиса.

Лйагнитный поток сердечника при переключении тран­зисторов изменяется от одного предельного значения до другого за время от 0,3 до 12 мкс, т. е. почти мгновенно.

Питание магнитного мультивибратора осуществляет­ся от выпрямителя *В1,* включенного в цепь одной из вто­ричных обмоток трансформатора *ТП* (см. рис. 35). Кон­денсатор с емкостью *С1,* находящийся под напряжением *Uai,* служит фильтром высших гармоник.

Фазовращательный мост (рис, 35 и 38) состоит из трансформатора, конденсатора с емкостью C2 = const, выпрямителя и регулируемого активного сопротивления r2=var.

Две выходные обмотки трансформатора выполняют роль двух плеч моста. Два других плеча образуют кон­денсатор и активное сопротивление. Последнее реализу­ется в виде транзистора, включенного в диагональ вы­прямительного моста.

Напряжение й'в, возникающее на выходных зажимах фазовращательного моста *ФМ,* подается на вход транс­форматора согласования *ТС* (см. рис. 35).

Рассмотрим принцип действия фазовращательного моста, полагая для упрощения, что нагрузка отсутствует, т. е. мост работает в режиме холостого хода (рис. 38).

Напряжения вторичных обмоток фазовращательного моста равны и совпадают по фазе:

*= &*

Ток *h,* проходя по замкнутому контуру, образован­ному плечами моста, вызывает падения напряжения:

на активном сопротивлении

^а2 = /2 Г2

и на сопротивлении конденсатора фазовращательного моста

*U — I х*

*\_С2 Z2-C2’*

причем первое совпадает по фазе с током, а второе от­стает от него на 90°.

Баланс напряжений вторичной цепи трансформатора описывается уравнением

*u2 ~ uj2* + t/; = t/a2 + *иС2,*

т. е. напряжение *U2* на выходе трансформатора всегда равно геометрической сумме падений напряжений па ак­тивном сопротивлении г2 фазовращательного моста и на реактивном сопротивлении конденсатора *ха-* Эти паде­ния напряжений связаны с напряжением *U\_B* на выходефазовращательного моста *ФМ,* т. е. на входе трансфор­матора согласования *ТС* (см. рис. 35), соотношениями

^а2=^ + ^;

*Ч.С2 = ^~иъ,*

из которых нетрудно определить напряжение на выходе моста по величине и фазе.

Если соблюдается равенство сопротивлений х

Г2 = *ХС2>*

то

*U,2 = UC2*

и векторная диаграмма фазовращательного моста при­нимает вид, показанный на рис. 39, *а.* При этом условии напряжение *UB* на выходе фазовращательного моста сдвинуто относительно напряжения *UK* по фазе на 90° в сторону отставания.



Рис 38. Принципиальная схема фазовращатепьного моста



*В)*

Рис. 39. Векторные дищрам- мы фазовращательного мо­ста:

а — при г,= х £,(0^90°); б — при *ri=2x^* (90 <0<18О°); *в* — при O = 1OX£2(0«18O9

С увеличением активного сопротивления падения на­пряжений на сопротивлениях фазовращательного моста перераспределяются и вектор напряжения *U&* на выходе моста поворачивается в направлении часовой стрелки. Так, соотношению сопротивлений соответствует векторная диаграмма рис. 39,6.

Угол, образованный векторами (7К и *U&,* превышает 90°, а при соотношении

г2 — ЮхС2

он приближается к 180° (рис. 39, *в).*

Из изложенного следует, что увеличение активного сопротивления фазовращательного моста от г2=хС2 до некоторого значения *г2^>хС2* вызывает увеличение угла сдвига фаз от ((/к; 1/в)=90° до (С/к; *UB)* «180°. При­ближенно можно считать (пренебрегая сдвигом фаз в со­гласующем трансформаторе и магнитном мультивибрато­ре), что и прямоугольное напряжение на выходе мульти­вибратора будет таким же образом изменяться по фазе относительно напряжения *UK* с изменением активного сопротивления г2, т. е. от 0=90° до 9О°<0^18О°.

Итак, уменьшение тока дросселя, включенного в цепь конденсаторной фазы параллельно конденсатору (рис. 35), с ростом тока главной фазы достигается увеличени­ем фазового угла сдвига 0 путем увеличения активного сопротивления г2 фазовращательного моста в пределах ОТ *Г2 = Хс2* до г2~ (20-5-30) *ХС2.*

Сопротивление г2 — это сопротивление коллекторной цепи транзистора, являющееся функцией тока базы. Оно увеличивается с уменьшением тока базы.

Следовательно, при минимальной нагрузке (режим холостого хода двигателя) необходимо создать началь­ный ток базы, удовлетворяющий равенству сопротивле­ний *г2—хС2.* С появлением нагрузки ток базы транзисто­ра должен уменьшаться тем сильнее, чем больше на­грузка.

Для создания начального тока базы транзистора слу­жит трансформатор *ТП* (см. рис. 35), одна из вторичных обмоток которого через выпрямитель *В2* присоединена к потенциометру. Напряжение на выходе потенциометра не зависит от режима работы двигателя и при данном фиксированном положении подвижного контакта остает­ся постоянным:

*Ud2* = const.

Напряжение на выходе другого потенциометра, вклю­ченного через выпрямитель *ВЗ* во вторичную цепь транс­форматора тока, являющееся напряжением обратной связи, пропорционально току главной фазы:

*^d3 — ,*

где *k —* коэффициент пропорциональности.

Напряжения *Ud2* и *Ud3* действуют в цепи база — эмит­тер транзистора, причем относительно друг друга они на­правлены встречно. Их алгебраическая сумма определя­ет напряжение, подведенное к этой цепи:

*Уб.э — U d2 — klr,fy.*

При минимальном токе главной фазы ток базы тран­зистора становится наибольшим, что видно из соотноше­ния

*Uб,э max — klr&miti'*

При этом в цепи эмиттер — коллектор транзистора проходит увеличенный ток, при котором обеспечивается равенство сопротивлений фазовращательного моста (гг=хС2), соответствующее фазовому углу сдвига О ==90°.

Увеличение нагрузки (тока главной фазы) приводит к уменьшению напряжения С/е,э и соответственно тока базы транзистора. Сопротивление цепи коллектор— эмиттер увеличивается, вызывая увеличение фазового уг­ла сдвига 0. Максимумы импульсов тока дросселя и ам­плитуды первой гармоники тока дросселя ограничивают­ся. В результате происходит возрастание тока конденса­торной фазы.

Максимальному току главной фазы удовлетворяют соотношения

*Uпип ~ U & ^r,6}max’i*

*Г2 > ХсГ,*0» 180°,

соответствующие току конденсаторной фазы:

= Л.,ф ~

1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ

КОНДЕНСАТОРОВ

Использование конденсаторов в силовых электриче­ских цепях, в частности в схемах включения конденса­торного двигателя, связано с необходимостью проведения обязательных мер, обеспечивающих безопасность обслу­живающего персонала.

Основной мерой обеспечения безопасности обслужи­вания является устройство ограждений, исключающих возможность случайного при косновения к открытым то­коведущим частям, находя­щимся под напряжением. Желательно иметь сетчатые ограждения. При отсутствии металлической сетки ограж­дения могут быть сделаны в виде кожуха из листовой стали (рис. 40).

Батарею конденсаторов необходимо надежно закре­пить, чтобы предупредить смещение ее от возможных

Рис 40. Электроточилка с конден­саторным двигателем:

/ — дматель; *2* — кожух из листовой стплв с конденсаторами; *3* — рукоятка в положении «пуск» {включена пуско­вая емкость); 4 — рукоятка в положе­нии «работа» (включена только рабо­чая емкость)

вибраций и сотрясений. Расположение батареи и устрой­ство ограждений должны обеспечить удобный доступ к конденсаторам.

Замена неисправных плавких вставок предохраните­лей производится только при замкнутом рубильнике в це­пи отключаемой емкости. Каждый раз после выключения двигателя следует замыкать цепь с отключаемой (пус­ковой) емкостью, тем самым подготавливая схему к оче­редному пуску.

Необходимо иметь в виду, что конденсатор с исправ­ной изоляцией после отключения сохраняет напряжение на выводах в течение длительного времени. В наиболее неблагоприятном случае оно может достигать амплиту­ды напряжения переменного тока.

Опасность поражения электрическим током при при­косновении к заряженному конденсатору тем больше, чем больше его емкость и выше напряжение.

При производстве ремонтных работ и испытаниях после каждого отключения конденсатора производится его разряд В качестве разрядного сопротивления про­ще всего использовать несколько электрических ламп накаливания, соединенных последовательно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Адаменко А. И.** Однофазные конденсаторные двигатели Киев: Изд -во АН УССР, 1960
2. **Долин П. А.** Справочник по технике безопасности. — **6-е** изд, перераб и доп М • Энергоатомиздат, 1984
3. **Меркни Г. Б.** Конденсаторные электродвигатели для **промыш­**ленности и транспорта. М —Л ■ Энергия, 1966
4. Справочник по электрическим конденсаторам/Под общ ред И И Четверткова М Радио и связь, 1983
5. Полупроводниковые приборы Диоды, тиристоры, оптоэлект­ронные приборы Справочник/Под общ ред Н Н Горюнова М: Энергоиздат, 1982
6. Сырых Н Н. Эксплуатация сельских электроустановок. М.: Агропромиздат, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

1. Асинхронный двигатель трехфазного тока Основные тех­нические данные . . . . .
2. Работа трехфазного асинхронного двигателя от сети одно­фазного тока Способы пуска
3. Конденсаторный двигатель
4. Конденсаторы .
5. Электрические схемы конденсаторного двигателя , ,
6. Определение рабочей и пусковой емкости . . . ,
7. Напряжение на конденсаторе
8. Выбор схемы включения .
9. Графическое изображение синусоидальных величин
10. Графики зависимостей токов и напряжений конденсатор­ного двигателя от нагрузки . ... . . ,

11. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя

1. Расчетное определение рабочей емкости
2. Конденсаторный двигатель как преобразователь числа фаз
3. Работа конденсаторного двигателя при условиях, отлича­ющихся от номинальных , .
4. Улучшение эксплуатационных свойств конденсаторного

двигателя .

1. Применение полупроводниковых приборов в устройствах

управления конденсаторным двигателем

1. Техника безопасности при обслуживании конденсаторов

Список литературы

Производственное издание

4

13

18

21

24

27

29

31

37

42

46

53

57

66

68

81

93

94

*ЮРОПЦЕВ НИКОЛАЙ ДЕМИДОВИЧ*

**Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором**

Редактор *В М Киселев*

Редактор издательства *А В Волковицкая*

Художественные редакторы *В А. Гозак-Хозак,*

*Г И Панфилова*

Технический редактор *Т Ю Андреева*

Корректор *М Г Гулина*

ИВ № 2588

Сдано в набор 22 02 88 Подписано в печать 27 06 88 Формат 84X108Vs2. Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая. Уел печ л 5 04 Усл кр отт 5 25 Уч изд л 5,06. Тираж 73 000 экз. Заказ № 69 Цена 25 к

Эиергоатомиздат 113114 Москва М 114, Шлюзовая иаб , 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Госкомиздате СССР 600000, г Владимир, Октябрьский проспект, д 7

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ готовит к изданию в 1989 го­ду в серии «Библиотека электромонтера» следующие книги:

Байтер **И. И.,** Богданова **Н. А.** Релейная защита и автоматика питающих элементов собственных нужд теп­ловых электростанций. — 3-е изд., перераб. и доп. — 7,5 л: 35 к.

**Будаев М. И.** Высокочастотные защиты линий 110— 220 кВ, —6,5 л.: 35 к.

**Голаицов Е. Б., Молчанов В. В.** Дифференциальные защиты трансформаторов с реле типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23).—

1. л.: 35 к.

**Гордон С. В.** Моя профессия — электролинейщик.— 7 л.: 35 к.

**Кузнецов А. П.** Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. — 7 л.: 35 к.

**Овчинников В. В.** Реле РНТ в схемах дифференци­альных защит. — 3-е изд., перераб. и доп. — 6 л.: 30 к.

**Шабад М. А.** Защита трансформаторов 10 кВ. —

1. л.: 35 к.

С аннотациями на эти книги Вы можете ознакомить­ся в тематическом плане выпуска литературы Энерго- атомиздата на 1989 год, который имеется во всех книж­ных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, а также в технических библиотеках.

Предварительные заказы на эти книги принимают все магазины научно-технической литературы с 15 апре­ля по 31 октября 1988 года.

25 k.

1. Конденсаторные двигатели специального исполнения (напри­мер, электротяговые двигатели рудничных электровозов) могут иметь значительно большую мощность. В книге такие двигатели не рассматриваются. [↑](#footnote-ref-2)