

ДИСКРЕТНЫЙ ПУСК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 6000В

Аннотация: При включении асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором возникает пусковой ток что может привести к нарушению электромагнитную совместимости. Существует много способов пуска [1,2]. Применяют дискретный пуск [3], который практически возможен для высоковольтных двигателей постоянная времени которых $>0,035с$, что позволяет производить дискретное включение более длительное.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, номинальный ток, пусковой ток, номинальное напряжение, питающая сеть, статорные обмотки, промежуток времени дискретного включения.

Анализ и расчёт для конкретного двигателя производится в данной работе.

Промышленностью выпускаются различные типы электродвигателей [4,5]:

1. Двигателя серии А4-450Х-6, 630 кВт, 6000В.
2. Параметры электродвигателей А4560, напряжением 3, 6, 10 кВ.
3. Электродвигатели АОД 1250 – 4У1 на 6 кВ.
4. Электродвигатели АОД400/250-6/8У1 на 6 кВ.

Технические данные двигателей высокого напряжения 3, 6, 10 кВ приводятся в каталогах в интернете. У различных двигателей равной мощности и равного напряжения технические данные мало чем отличаются друг от друга.

Кроме того возможен дискретный асинхронный пуск синхронных двигателей высокого напряжения. Технические данные в каталогах при равной мощности практически соответствуют асинхронным двигателям той же мощности. Недостатком является отсутствие данных номинального скольжения СД, которое можно приближённо принять как у АД той же мощности.

В данной работе предлагается производить пуск конкретного двигателя серии А4-450Х-6, 630 кВт, 6000В.

Таблица 1

Каталожные данные.

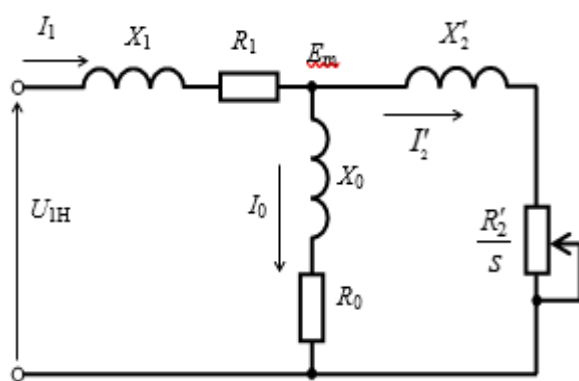
$P_n=630,0$ кВт	P_n	номинальная мощность двигателя, кВт;
$U_n=6000$ В	U_n	номинальное линейное напряжение, В;
$I_n=74,4$ А	I_n	номинальный ток, А, фазный ток статора
$n_n=1000$	n_n	номинальная частота вращения, об/мин
$S_n=1,1$	s_n	номинальное скольжение, %;
$\eta=94,7$	η_n	коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100% я нагрузка), %;
$\cos \varphi =0.86$	$\cos \varphi$	коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;
$I_{\Pi}/I_n = k_i = 4,5$		кратность пускового тока, о.е.;
$M_{\Pi}/M_n = k_m = 1$		кратность пускового момента, о.е.;
$M_{\text{МАКС}}/M_n = k_{\text{МАКС}} = 1,9$	$\lambda=M_m/M_n$	кратность максимального момента, о.е.;
48	Кг/м ²	момент инерции ротора



6019 Нм	Mn [Нм]	номинальный момент нагрузки
3	m1	число фаз
3	Zp	число пар полюсов магнитного поля статора.
3468,2	U1	фазное напряжение

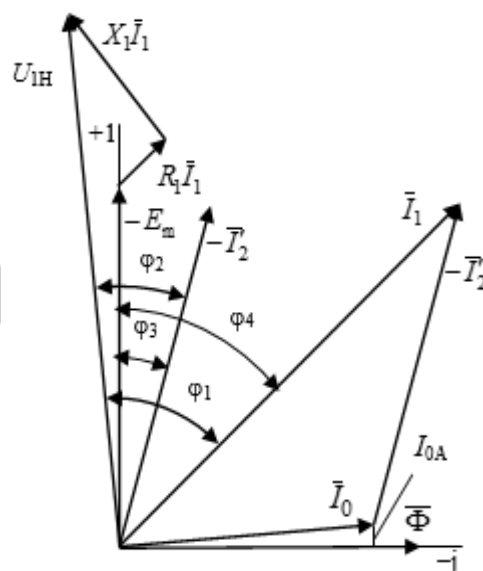
На основании каталожных данных [5] производится расчёт параметров схемы замещения по методике Усольцева А. А [6].

Определение параметров асинхронных электродвигателей производится для Т – образной схемы замещения (рис. 1), векторная диаграмма на комплексной плоскости для которой приведена на рис. 2. Здесь приняты следующие обозначения: U_{1H} –фазное номинальное напряжение статора, I_1 –фазный ток статора, I'_2 – приведенный ток ротора, I_0 –ток цепи намагничивания, X_1 – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора, X'_2 – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, R_0 и X_0 –активное и индуктивное сопротивления цепи намагничивания, R_1 –активное сопротивление обмотки статора, и R'_2 –приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора, E_m –ЭДС цепи намагничивания, S –скольжение двигателя.



Р и с. 1

Т–образная схема замещения асинхронного двигателя



Р и с. 2

Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Схема замещения справедлива при следующих допущениях: параметры всех цепей постоянные, каталожные данные двигателя соответствуют номинальному режиму в нагретом состоянии.

На основании Т –образной схемы замещения можно записать три уравнения Кирхгофа, в которых известен только номинальный ток статора I_1 и его активная и реактивная составляющие, неизвестны все сопротивления, поэтому в расчёте используется только одно уравнение для проверки:

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_0 \quad (1)$$



Некоторые средние значения приняты при расчёте по методике Усольцева А.А [6]. В [7] (журнал Флагман науки) автором производился аналогичный расчёт, поэтому здесь приводятся только результаты расчёта.

$$R_1=0,415, X_1=X_{\sigma 1}=7,28, X_0=X_m=134,56, R_0=1,0, R'_2=0,594, X'_2=X_{\sigma 2}=7,28 \quad (2)$$

С целью расчёта переходных процессов при включении двигателя целесообразно найти эквивалентное сопротивление параллельных ветвей схемы замещения.

$$Z_3 = \frac{(R_0 + jX_0) \cdot (R'_2 + jX'_2)}{R_0 + jX_0 + R'_2 + jX'_2} \quad (3)$$

$$R'_2 + jX'_2 = 0,594 + j7,28 = 7,316 \cdot e^{j85,33} \quad (4)$$

$$R_0 + jX_0 + R'_2 + jX'_2 = 1 + j134,56 + 0,594 + j7,28 = 1,594 + j141,84 = 141,85 \cdot e^{j89,356}$$

$$Z_3 = \frac{984,6 \cdot e^{j174,9}}{141,85 \cdot e^{j89,356}} = 6,94 \cdot e^{j85,544} = 0,539 + j6,92 (\cos, \sin)$$

$$R_3=0,539 \quad X_3=6,92$$

Таким образом эквивалентные сопротивления одноконтурной схемы:

$$R=R_1+R_3=0,415+0,539=0,954 \text{ Ом} \quad (5)$$

$$X_L=X_1+X_3=7,28+6,92=14,2 \text{ Ом} \quad (6)$$

$$Z = R + jX_L = 0,954 + j14,2 = 14,23e^{j86,16} \quad (7)$$

$$L=14,2/314=0,0452 \text{ Гн}$$

Постоянная времени:

$$\tau = \frac{L}{R} = 0,0474 \text{ с} \quad (8)$$

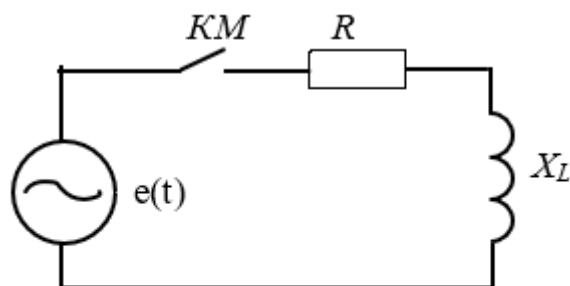


Рис.3
 Расчётная схема переходных процессов.

Проверка показала, что высоковольтные двигатели имеют постоянную времени больше 0,04 с, при этом дискретность времени включения может быть не менее 0,015 с.

Комплексная амплитуда тока в цепи до коммутации, когда симисторы открываются при максимуме амплитуды напряжения:

$$I_{mA} = \frac{4890}{14,23 \cdot e^{j86,16}} = 343,64 \cdot e^{-j86,16} = 343,64 \cdot \sin(\omega t - 86,16) \quad (9)$$



В момент коммутации (при $\omega t = 0$):

$$i_A(0_-) = 343,64 \cdot \sin(-86,16^\circ) = -342,87 \text{ A} \quad (10)$$

По первому закону коммутации:

$$i_A(0_-) = i_A(0_+) = 342,87 \text{ A} \quad (11)$$

Вторая часть задачи:

Характеристическое уравнение

$$pL + R = 0 \quad (12)$$

Имеет один корень

$$p = -\frac{R}{L} = -\frac{0,954}{0,0452} = -21,106 \text{ c}^{-1} \quad (13)$$

Свободные токи от 0_+

$$i_{CB}(A) = 342,87 \cdot e^{-j21,106t} \quad (14)$$

Следовательно: Сила амплитуды тока в функции времени

$$i_A = 343,64 - 342,87 \cdot e^{-j21,106t} \quad (15)$$

Рассмотрим изменение тока во времени при синусоидальном воздействии.

$$I_\sigma = \sin 18000t \cdot (343,64 - 342,87 \cdot e^{-j21,106t}) \quad (16)$$

Где $\sin \omega t$ в радианах переведён в градусы

Расчёт представляется в таблице, где отдельно показаны:

$I_A = \sin 18000t \cdot 343,64$ - сила переменного тока,

Параметр $e^{-j21,106t}$,

Свободный ток $i_{CB} = \sin 18000t \cdot (-342,87 \cdot e^{-j21,106t})$.

А также показан действительный ток I_σ

Таблица 2

t	Sin (18000t)	IA	I_σ	ICB	$e^{-21,106t}$
0,0	0	0		0	0
0,001	0,309	106,19	2,47	103,72	0,979
0,002					0,959
0,003	0,809	278	18,1	259,9	0,937
0,004					0,919
0,005	1	343,64	35,14	308,5	0,8998
0,006					0,881
0,007	0,809	278	38,35	239,6	0,862
0,008					0,845
0,009	0,309	106,18	18,56	87,6	0,827
0,01	0	0	0	0	0,81
0,011	-0,309	-106,18	22	-84,2	0,793
0,012	-0,587	-201,7	45,52	-	0,776
				156,18	
0,013	-0,81	-278,3	67,23	-211,07	0,76
0,014	-0,951	-326,8	84,1 (74,4)1,13	-242,6	0,744



0,015	-1	-343,64	93,69	1,26	-249,99	0,729
0,017	-0,809	-278	84,25	1,13	-193,75	0,6985
0,018	-0,588	-202,06	64,16		-137,9	0,684
0,019	-0,309	-106,18	35,19		-71	0,67
0,02	-0	0	0		0	0,655

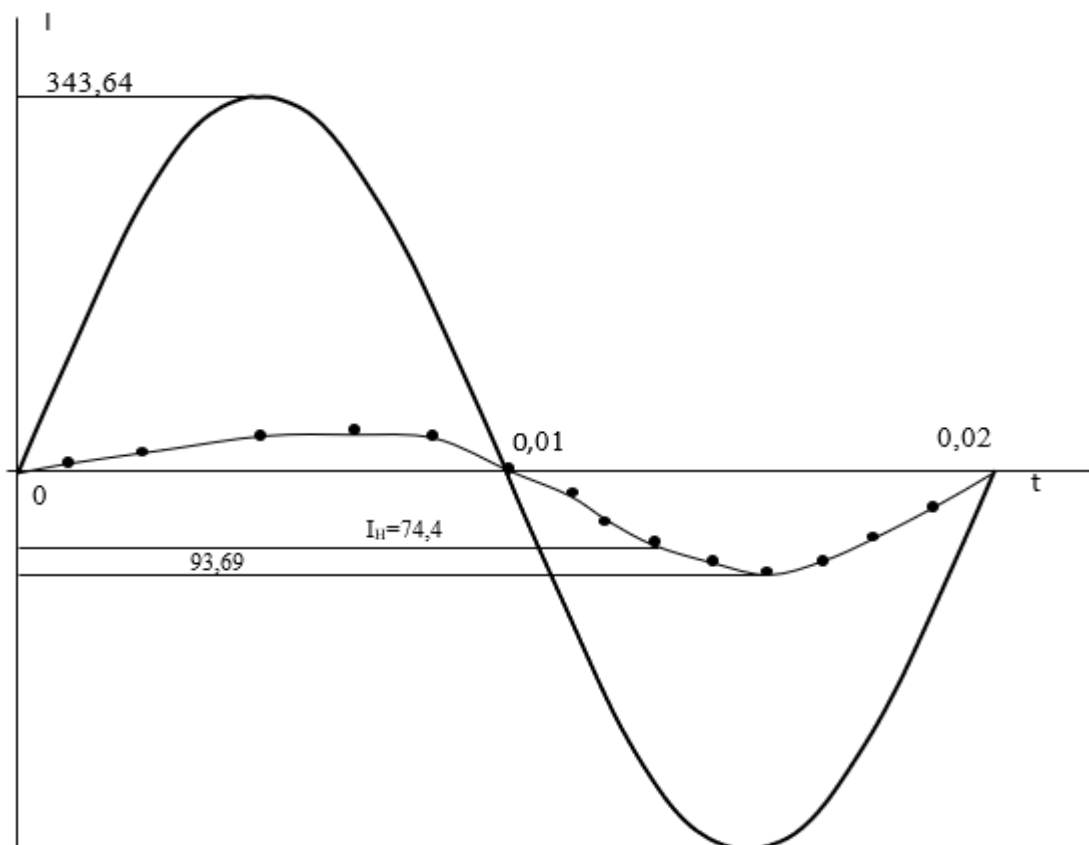


Рис 4
 Изменение тока при первом включении.
 Номинальный ток $I_n=74,4$

Вывод: Анализ показывает, что дискретное включение при токе не превышающим номинального значения будет при времени дискретного включения 0,013 с. Если допустить незначительную перегрузку по току в 1,26 раза, то время дискретного включения возможно оставить 0,02 с.

Анализ трёхфазной системы ЭДС показывает, что за время дискретного включения 0,013 с. практически в каждой фазе достигается максимальное значение ЭДС и тока, при этом создаётся вращающее магнитное поле для пуска двигателя.

Схемы пуска и вариант включения электродвигателя без симисторов.

Принципиальная схема генераторов импульсов на микросхеме КР1006ВИ1.

Предусмотрены интервалы включения и отключения. а – в ждущем режиме; $t_i=1,1R_{IC1}$; б- в режиме автогенерации; $t_1=0,69(R_1 + R_2)C_1$; $t_2=0,69R_2C_1$; $R_1 + R_2$ не более 10 МОм при $U_n=15В$ и не более 3 МОм при $U_n = 5 В$, минимальное значение 2 кОм. **$T_2=0,01$ с.** **$T_1=0,5$ с.** $C_1=4,7$ мкф. $R_3,R_4,R_6,R_{26} = 10$ к. $R_5,R_7,R_{24}=3,3$ к. $R_{22}=1$ к. $R_{23}=30$ к.



$R_{23}=30\text{к}$. $R_{25}=2,2\text{ к}$. $R_2=3083\text{ Ом}$. $R_1=151095\text{ Ом}$.

Резисторами R_1, R_2 можно регулировать время включения и время паузы

Счётчиком 561ИЕ10 считается количество дискретных включений, при превышении которых срабатывает реле времени KT_1 , отключая тем самым симисторы контакторами KM_2, KM_3 и включая контактор KM_1 . (рис. 6,7,8).

На рис. 7 показана схема включения симисторов, однако эта схема применима для пуска низковольтных двигателей, так как в интернете **не найдены параметры симисторов на напряжение ваше 1000 В**.

Промышленностью выпускаются высоковольтные тиристоры и диоды.

Тиристоры Т283-1600 – силовые низкочастотные тиристоры таблеточной конструкции общего назначения. Преобразовывают и регулируют постоянный и переменный ток до 1600 ампер частотой до 500 Гц в цепях с напряжением 6000 В.

Диоды выпрямительные, быстровосстанавливающиеся, сварочные, лавинные до 10200 а / 10000 в. Диоды выпрямительные таблеточной конструкции Д123-200 5200-6000В, 240А, 3.0 1.0 3.100 0.080 140 6 pd22

На рис. 8 показан вариант включения с помощью тиристора и четырёх диодов. Если U_A положительно относительно U_B , то ток протекает через VD_1 , открытый тиристор VS_1 и диод VD_4 .

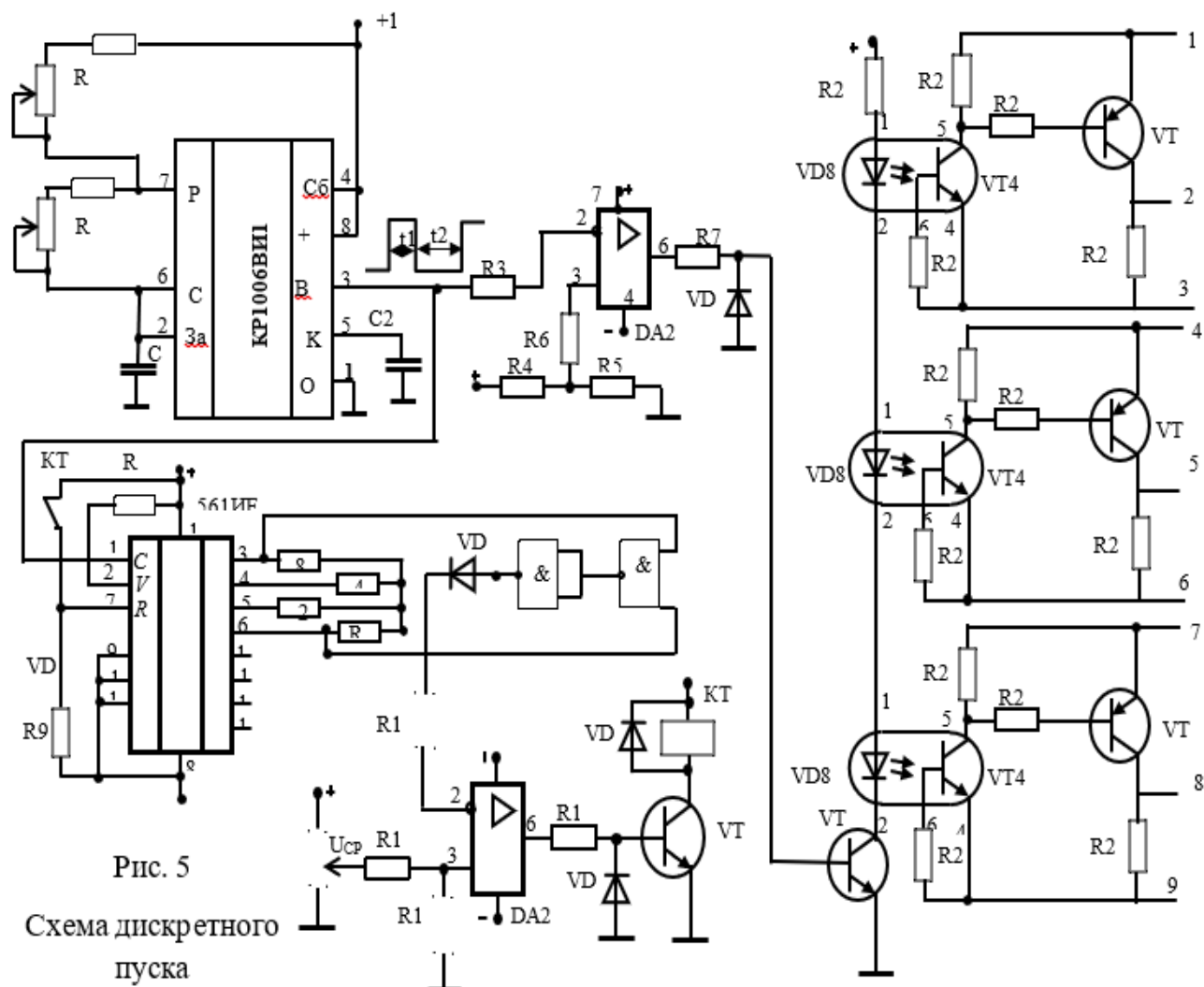


Рис. 5

Схема дискретного пуска

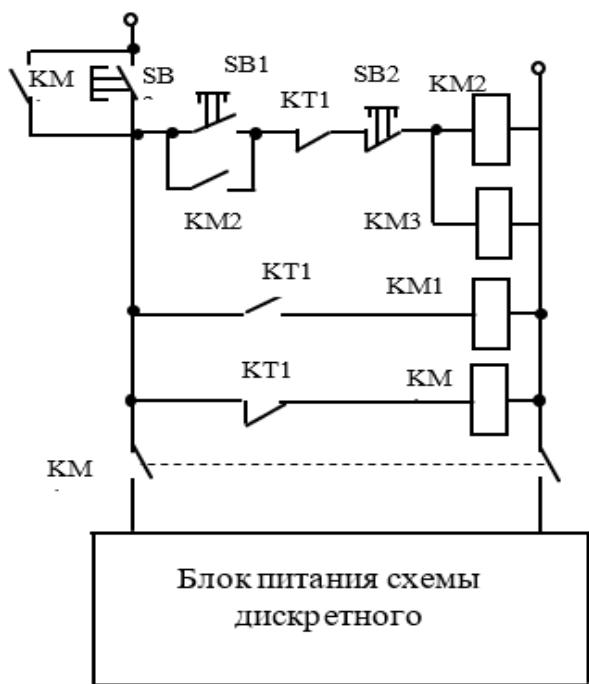


Рис. 6
 Контактная часть схемы

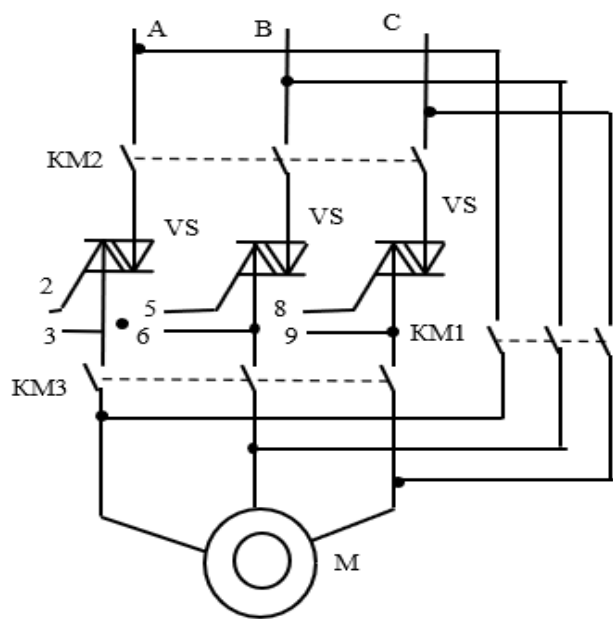


Рис. 7
 Силовая часть
 включения симисторов

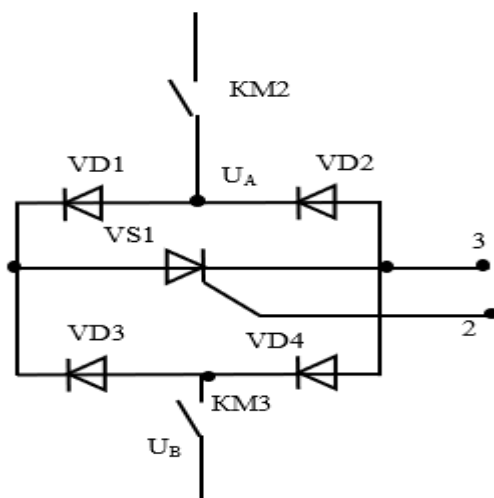


Рис. 8.
 Вариант симистора из высоковольтных
 диодов и тиристора.

На рис. 8 показан вариант симистора с помощью тиристора и четырёх диодов. Если U_A положительно относительно U_B , то ток протекает через $VD1$, открытый тиристор $VS1$ и диод $VD4$.

Если U_B положительно относительно U_A , то ток протекает через $VD3$, открытый тиристор $VS1$ и диод $VD2$. То есть срабатывание как при включении симистора.

Вывод: Таким образом разработан вариант включения высоковольтного электродвигателя без симисторов с применением тиристора и диодов.



Список литературы:

1. Рылов Ю.А., Баженов Н.Г., Магданов Г.С. Исследование способов пуска трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: Метод. указания по выполнению лабораторной работы № 6 на стенде НТЦ-23 / Сост.: Ю.А. Рылов, Н.Г. Баженов, Г.С. Магданов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. – 20 с. УДК 621.313, ББК 31.261.63, И88.
2. Ещин Е.К., Соколов И.А., Иванов В.Л., Каширских В.Г., Соколов Д.В. Патент на способ пуска асинхронного электродвигателя. Государственное учреждение Кузбасский государственный технический университет. Публикация патента: 27.08.2004
3. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / под редакцией Л. Г. Миконянца. – 4 изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 240 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 380с.
5. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором «электромашина», мосэлектромаш, каталог. (из интернета)
6. Усольцев А. А. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по справочным данным. ИТМО (Государственный университет).
7. Осипов В. С. Новый метод пуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Международный научный журнал "Флагман науки" №3 (14) Март 2024 www.flagmannauki.ru

