

УДК: 621.039.637.621.313.333.2

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ
БАТАРЕЙ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Искрина А.В., гр. ЭМ-1-09, к.т.н., доцент Соловьёв Я.Я.

В статье рассмотрены вопросы инженерной методики расчёта ёмкости конденсаторных батарей для индивидуальной компенсации реактивной мощности асинхронных двигателей

The article discusses the engineering methods of calculating capacity of capacitor banks for individual compensation of reactive power induction motors

Настоящая работа посвящена созданию инженерной методики расчёта ёмкости конденсаторных батарей (ИБК) для индивидуальной компенсации реактивной мощности асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором.

Основную (65-76%) долю реактивного тока асинхронного двигателя, независимую от нагрузки, составляет так называемый ток намагничивания I_m (рис.1). Этот ток необходим для создания рабочего магнитного поля машины.

Реактивная мощность циркулирует между источником и нагрузкой, увеличивая потери в сети, понижая качество напряжения у потребителей. Такое явление тем более вредно, чем больше расстояние между питающим трансформатором и реактивной нагрузкой.

Для сокращения расстояния, на котором производится обмен реактивной энергией, применяют компенсацию реактивной мощности. В качестве компенсаторов могут быть использованы как синхронные машины, так и статические конденсаторы.

Централизованная компенсация на районных подстанциях разгружает магистральные ЛЭП, оставляя загруженными внутрирайонные сети, групповая компенсация ещё более сокращает загруженную часть внутренних коммуникаций.

При централизованной и групповой компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей добиться глубокой компенсации не удастся из-за снижения статической устойчивости узла нагрузки сети. Это объясняется отрицательным регулирующим эффектом конденсаторных батарей централизованной (групповой) установки: при понижении напряжения в сети их реактивный ток уменьшается, снижается эффективность его воздействия на потерю напряжения в сети, в

связи с чем потеря еще больше возрастает, а напряжение у потребителей еще больше падает.

В случае индивидуальной компенсации конденсаторная батарея расположена рядом с асинхронным двигателем, и реактивным током грузится только участок между АД и ИБК.

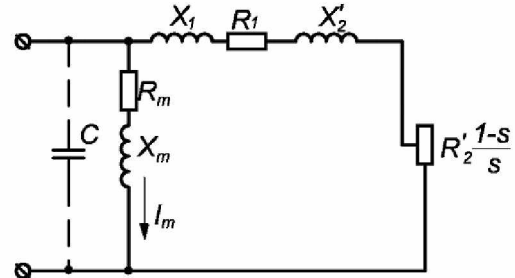


Рис.1. Г-образная схема замещения асинхронного двигателя

Система АД—ИБК изменяет характер своей реактивности и знак регулирующего эффекта в функции подведенного напряжения: при понижении напряжения в сети ниже номинального преобладает ёмкостный ток батарей конденсаторов, препятствующий дальнейшему понижению напряжения, и, наоборот, при повышении напряжения сверх номинального доминирует индуктивный ток двигателя, увеличивающий потерю напряжения в сети. В результате реакция системы АД—ИБК всегда направлена встречно возмущению — отклонению напряжения в сети (рис.2). Поэтому эта система как узел нагрузки электрической сети статически устойчива и обладает стабилизирующим напряжением действием.

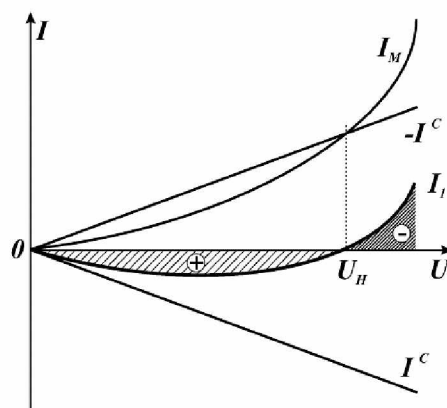


Рис.2. Характер реактивности системы АД-ИБК

при $U = U_n$	$I^c \approx I \sin \varphi$	$\Delta U \approx 0$
при $U > U_n$	$I^c < I \sin \varphi$	$\Delta U < 0$
при $U < U_n$	$I^c > I \sin \varphi$	$\Delta U > 0$

$$\Delta U = r_c I \cos \varphi + x_c (I \sin \varphi - I^c) \approx x_c (I \sin \varphi - I^c),$$

где ΔU - потеря напряжения в сети, В; U и U_n - фактическое и номинальное напряжение сети, В; r_c и x_c - активное и индуктивное сопротивление сети, Ом;

I и φ - ток АД (А) и его фаза;

I^c —ток фазы ИБК, А.

Поскольку ток статора асинхронного двигателя I имеет реактивную составляющую I_p , естественный коэффициент мощности $\cos\varphi$ асинхронных двигателей всегда меньше единицы:

$$\cos\varphi = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + I_p^2}},$$

где I_a – активный ток, I_p – реактивный ток.

Наименьшее значение коэффициента мощности соответствует режиму холостого хода, когда $\cos\varphi$ не превышает 0,2. Объясняется это тем, что активная составляющая тока в этом режиме минимальна, а реактивная – ток намагничивания электродвигателя I_m при любой нагрузке остается практически неизменным. Он зависит только от габарита и полюсности двигателя, поэтому скомпенсировать его можно нерегулируемой индивидуальной батареей конденсаторов (ИБК), подключаемой непосредственно к зажимам асинхронного двигателя (рис.1). Обмотки двигателя в этом случае выполняют роль разрядных сопротивлений.

При подключении ИБК к обмоткам двигателей происходит нейтрализация реактивного тока в сети за счет обмена реактивной мощностью между конденсаторами и магнитной системой двигателя. В том случае, когда ёмкость нерегулируемой ИБК выбрана, чтобы скомпенсировать ток намагничивания, максимальный коэффициент мощности системы асинхронный двигатель — индивидуальная батарея конденсаторов

(АД—ИБК) близок к единице в широком диапазоне нагрузок.

Для компенсации реактивной мощности асинхронных двигателей серий АО и АО2 ёмкости фаз индивидуальных конденсаторных батарей, соединенных треугольником, предложены формулы, приведенные в [1].

При соединении батареи конденсаторов в звезду рассчитанную ёмкость следует увеличить в три раза.

Серии АО и АО2 устарели, давно сняты с производства и в эксплуатации практически вытеснены новыми сериями 4А, 5А и АИР. Новые серии машин выполнены из иных активных материалов и с иными электромагнитными нагрузками, следовательно, следует ожидать изменения и их реактивности.

С другой стороны, изменения электромагнитных нагрузок в машинах новых серий не могут быть радикальными, и можно предположить, что ранее полученные соотношения могут быть применены и для расчёта ИБК к АД новых серий. Эта задача решена применительно к режиму холостого хода двигателей указанных выше серий основного исполнения. Расчёты произведены в табличном редакторе Excel на основании номинальных каталожных данных [2, 3] и пересчитаны к режиму холостого хода на основании справочных материалов по нормам токов холостого хода (табл.1) для принятых частот вращения и диапазонов мощности [4].

Таблица 1

Средние значения тока холостого хода в % к номинальному для АД мощностью

Синхронная частота вращения, об/мин	до 10 кВт	От 10 до 100 кВт
3000	50	25
1500	70	50
1000	75	55
750	80	60

В результате аппроксимации графиков зависимостей рассчитанных ёмкостей ИБК от номинальной мощности и синхронной частоты вращения (полюсности) АД получены формулы для

всех рассмотренных серий асинхронных машин. В таблице 2 полученные результаты сопоставлены с ранее предложенными формулами для серий АО и АО2.

Таблица 2

Формулы для расчёта ёмкости ИБК двигателей единых серий

Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Ёмкость фазы ИБК, мкФ			
		Серия асинхронных машин			
		АО, АО2	4А	5А	АИР
До 10 кВт	3000	$C = 2,6P_n + 1$	$C = 2P_n + 1$	$C = 2,7P_n + 1$	$C = 2P_n + 2$
	1500	$C = 3P_n + 3$	$C = 3,5P_n + 2$	$C = 3,4P_n + 3$	$C = 2,8P_n + 4$
	1000	$C = 3,7P_n + 4$	$C = 4,1P_n + 4$	$C = 4,3P_n + 4$	$C = 3,8P_n + 4$

	750	$C = 3,5P_n + 10$	$C = 5,6P_n + 3$	$C = 5P_n + 5$	$C = 6,4P_n + 2$
10-100 кВт	3000	$C = 2P_n + 10$	$C = P_n + 1$	$C = 0,9P_n + 2$	$C = 0,8P_n + 4$
	1500	$C = 2P_n + 10$	$C = 2P_n + 6$	$C = 2,3P_n + 2$	$C = 2P_n + 4$
	1000	$C = 2P_n + 10$	$C = 1,6P_n + 16$	$C = 2,2P_n + 18$	$C = 2,8P_n + 8$
	750	$C = 2P_n + 30$	$C = 3P_n + 8$	$C = 3,2P_n + 7$	$C = 2,7P_n + 20$

Здесь P_n – номинальная мощность двигателя, кВт.

Проверочный сопоставительный расчёт, произведённый для двух типоразмеров АД (2,2 кВт х 1000 об/мин и 22 кВт х 1000 об/мин) с использованием полученных формул показал хоро-

шую сходимость рассчитанных ёмкостей для двигателей как мощностью до 10 кВт, так и мощностью свыше 10 кВт.

Таблица 3

Сопоставительный расчёт ёмкости ИБК
по приведённым выше формулам

Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Ёмкость фазы ИБК, мкФ			
		Серия асинхронных машин			
		АО, АО2	4А	5А	АИР
2,2	3000	7	5	7	6
	1500	9	10	11	10
	1000	12	13	13	12
	750	18	15	16	16
22	3000	54	23	22	22
	1500	54	51	53	48
	1000	54	52	66	70
	750	74	74	77	79

Для изготовления индивидуальных конденсаторных батарей малой мощности промышленностью выпускаются специальные конденсаторы.

Выводы:

1. Разработаны формулы для упрощенного расчёта ёмкости ИБК АД серий 4А, 5А, АИР основного исполнения.
2. Близость рассчитанных значений ёмкостей с соответствующими значениями для серий АО и АО2 позволяет говорить о целесообразности унификации расчётных формул.

Литература

1. Проектирование комплексной электрификации. Под ред. Л.Г. Прищеп М.: Колос, 1983
2. Кравчик А.Э. и др. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. М.: Энергоиздат, 1982.
3. Владимирский электромоторный завод. Технический каталог для двигателей 5А и АИР. http://www.vemp.ru/pdf/katalog_2007.pdf.
4. М.Б. Зевин. Справочник молодого электромонтера. Издание 4. 1990.