

Пуск асинхронного двигателя в сети соизмеримой мощности

Майорова Ю. А.

*Майорова Юлия Александровна / Majorova Julija Aleksandrovna – инженер лаборатории электромеханики,
кафедра электрических систем и сетей,
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь*

Аннотация: в статье описывается экспериментальное исследование пуска асинхронного двигателя от сети соизмеримой мощности. Анализируются полученные результаты эксперимента. Приводятся рекомендации по уменьшению начального провала напряжения с помощью емкостной компенсации.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, пуск, провал напряжения, компенсация, синхронный генератор, нагрузка, конденсаторная батарея.

Введение

Отличительной особенностью автономных электроэнергетических систем, к которым относятся также все судовые системы (СЭС), является наличие в них асинхронных короткозамкнутых двигателей, мощность которых соизмерима с мощностью генераторов. Характерным для современных СЭС является также наличие в них мощных электроприводов постоянного тока, получающих электропитание от общей сети через выпрямительные устройства. Частое чередование включений и отключений нагрузок и особенно пусков мощных электродвигателей вызывает почти непрерывное колебание напряжения и частоты на шинах электростанций (автономных генераторов). Это приводит к динамическим изменениям режимов всех потребителей и характеризуется как снижение качества электроэнергии в системе.

Обобщенная схема автономной системы, включающей различные виды потребителей электроэнергии, показана на рисунке 1.

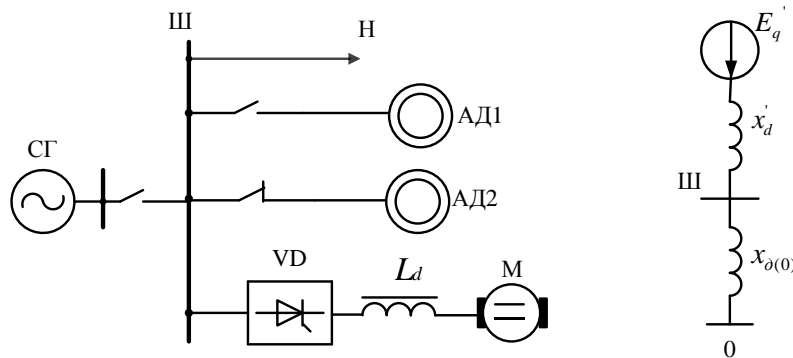


Рис. 1. Схема автономной системы с различными видами потребителей (а) и схема замещения пуска двигателя (б)

При пуске асинхронного двигателя АД1 или включении двигателя постоянного тока М от генератора соизмеримой мощности наблюдается провал напряжения (рис. 3) и кратковременное уменьшение частоты.

Запишем формулу электромагнитного момента:

$$M = C_M \cdot \frac{U_1^2 \cdot R_2 \cdot S}{R_2^2 + (S \cdot X_2)^2},$$

из формулы видно, что момент пропорционален квадрату напряжения:

$$M \equiv U_1^2,$$

соответственно, при снижении напряжения приблизительно на 30 % происходит и уменьшение момента (рисунок 2):

$$M \equiv (0.7U_1)^2 = 0.49U_1^2,$$

что приводит к увеличению времени пуска двигателя.

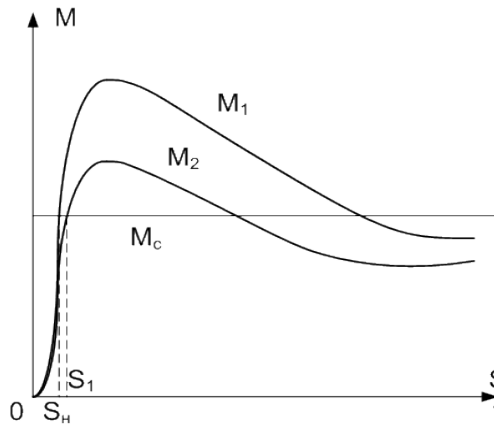


Рис. 2. Механическая характеристика двигателя при номинальном (M_1) и пониженном (M_2) напряжениях

Рассмотрим, например, влияние резкого снижения напряжения на работу тиристорного привода VD-M (рис. 1,а). Схема реверсивного тиристорного привода содержит два мостовых преобразовательных блока VD1 и VD2 (рис. 3,а). Блок VD1 работает в выпрямительном режиме, обеспечивая двигательный режим привода. При резком понижении напряжения двигатель переходит в генераторный режим, если второй преобразовательный блок VD2 будет работать в режиме инвертора. Обычно оба блока VD1 и VD2 имеют совместное управление тиристорами, при котором углы управления α (блок VD1) и β (блок VD2) регулируются из условия $\alpha + \beta = 180^\circ$ [2]. Это позволяет иметь автоматический переход блока VD2 в инверторный режим, а двигателя M в режим генераторного торможения, если происходит резкое снижение напряжения.

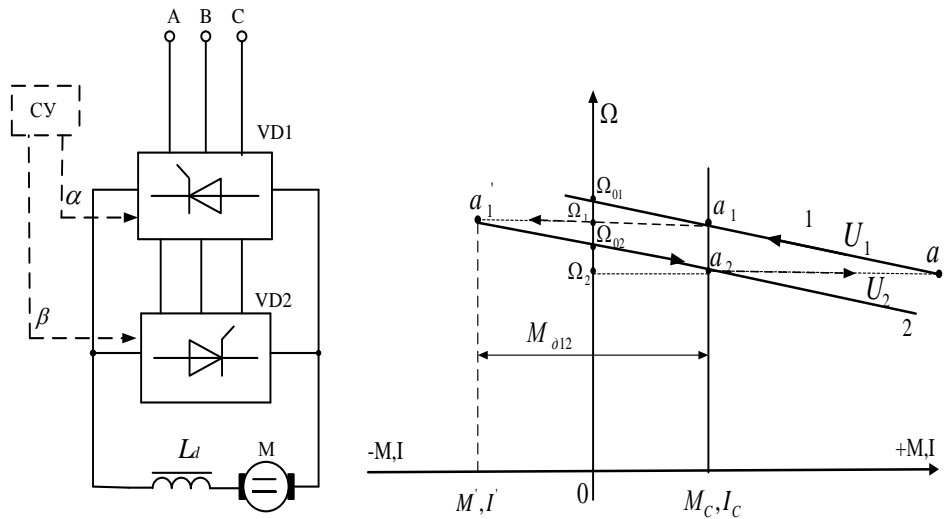


Рис. 3. Схема встречно-параллельного соединения тиристорных блоков (а) и динамические силы и моменты при начальном провале напряжения (б)

Обычно провалы напряжения оцениваются только с позиции требования к качеству электроэнергии. Так, согласно Морского Регистра, допустимым считается провал напряжения до 20 %. При этом оценки динамических последствий провала напряжения обычно не делается. Также рассмотрим, например, изменение режима двигателя при провале напряжения от значения U_1 до $U_2 < U_1$, а затем при его обратном восстановлении, используя соответствующие механические характеристики (рис. 3,б). Переход рабочей точки a режима при провале и затем при восстановлении напряжения можно оценить последовательностью положения точек $a_1 - a'_1 - a_2 - a'_2 - a_1$ (обозначено пунктиром). Как видим, при провале напряжения на вал двигателя будет действовать отрицательный динамический момент $M_{д12}$, величина которого может в несколько раз превышать номинальный момент, так как значение динамического момента примерно пропорционально глубине провала напряжения.

Для проверки влияния емкостной компенсации на переходный процесс пуска асинхронного двигателя от синхронного генератора был выполнен эксперимент. Для его реализации использовалось оборудование с параметрами:

генератора $S_{\text{нг}} = 6.25 \text{ кВА}$; $U_{\text{нг}} = 230 \text{ В}$, $x'_{d*} = 0.2$ при пуске от него **двигателя** $S_{\text{нд}} = 2.17 \text{ кВА}$ ($P_{\text{н}} = 1.7 \text{ кВт}$), $U_{\text{нд}} = 220 \text{ В}$, $k_i = 4.5$ без подключения емкости, и с подключением емкости $C = 150 \text{ мкФ}$.

Схема экспериментальной установки показана на рисунке 4.

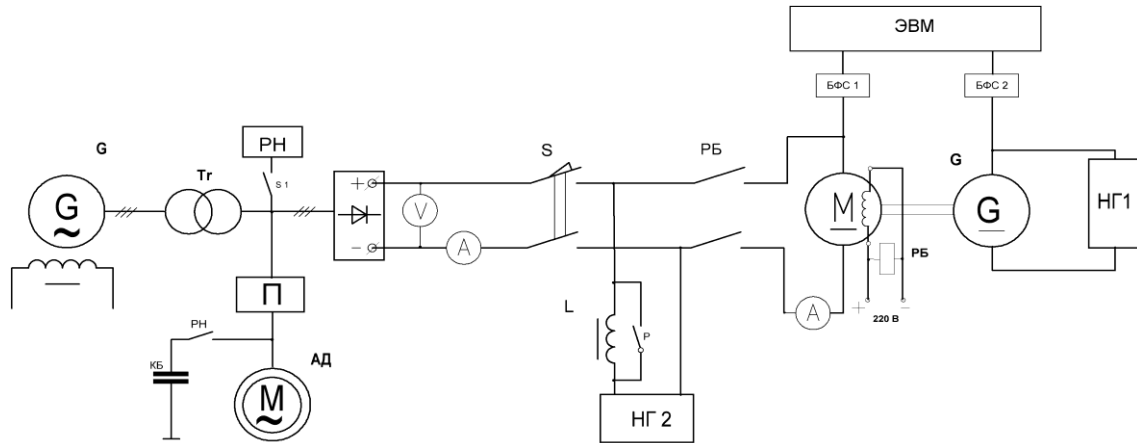


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

Ввиду перекомпенсации индуктивности емкостью, наступающей после завершения разгона двигателя, напряжение на генераторе превышает номинальное значение, при этом емкость автоматически отключается. Из анализа осциллограмм переходного процесса (рис. 5) следует, что провал напряжения при пуске двигателя с емкостью уменьшился примерно в расчетных пределах. Вместе с тем, ввиду отсутствия системы автоматического регулирования возбуждения генератора, имеет место дальнейшее падение напряжения, обусловленное увеличением переходного сопротивления x'_d генератора, которое стремится к установившемуся значению $x_d > x'_d$. Существенное снижение напряжения приводит к затяжному разгону, однако и в этих условиях видна положительная роль емкости: время разгона уменьшилось с 6,8 сек при пуске без конденсаторов (рис. 5) до 1,3 сек. при пуске с включенными конденсаторами (рис. 5).

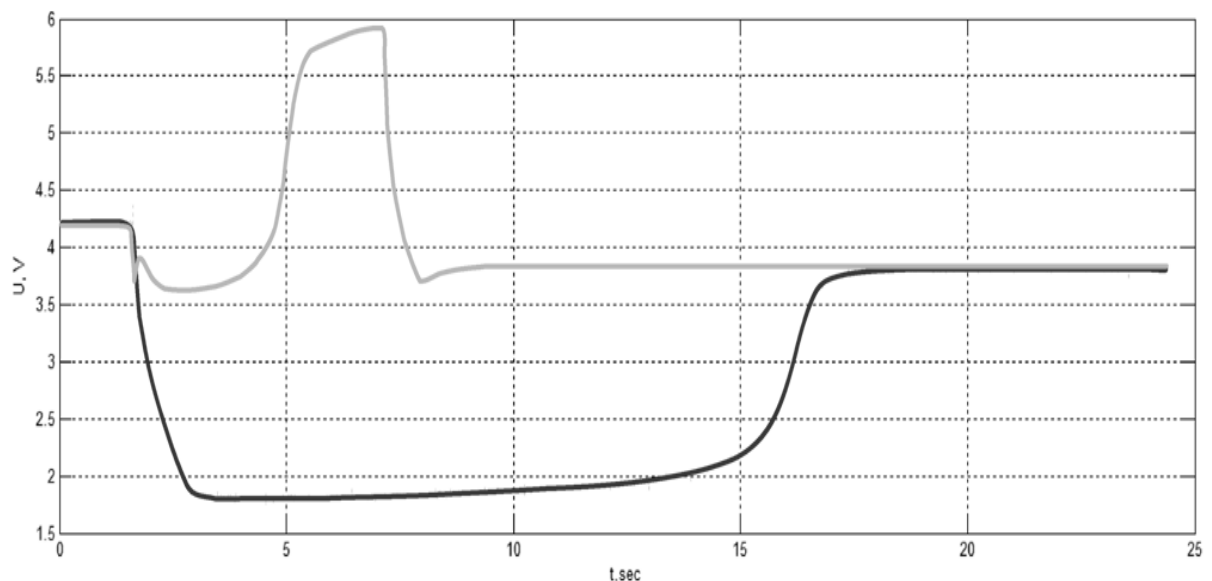


Рис. 5. Осциллограмма напряжений при прямом пуске и с использованием КБ

Выводы

Уменьшение начального провала напряжения с помощью емкостной компенсации приводит в итоге к уменьшению динамических воздействий на все электроприемники, подключенные к шинам генератора. Одновременно, конденсаторные батареи могут быть использованы в качестве компенсирующих емкостей индуктивной мощности двигателя после завершения пуска и работы двигателя в установившемся режиме. Применение емкостной компенсации в автономной электроэнергетической системе уменьшает нагрузку на систему возбуждения генераторов, способствует повышению устойчивости системы. Емкостные компенсаторы в автономной системе (АЭС) с резкопеременной смешанной нагрузкой (линейной и нелинейной) способствуют улучшению гармонического состава напряжения и снижению добавочных потерь в установившихся и переходных режимах.

Литература

1. *Мелешкин Г. А., Меркурьев Г. В.* Устойчивость энергосистем. Монография. Книга 1. СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.
2. *Анисимов О. Ю.* «Основы теории и расчёта надёжности электрической части». СИЯЭиП, Севастополь 1999 г.
3. *Барзан А. Б.* «Системная автоматика». Энергоатомиздат, 1989 г.
4. *Неклепаев Б. П., Крючков И. П.* «Электрическая часть станции и подстанции». Энергоатомиздат, 1989 г.