

УДК 621.32 (575.2) (04)

СХЕМЫ синхронизации и несимметричные режимы двигателей электромеханической системы синхронного вращения

К.О. Темиров – ведущий инженер

Necessity of synchronization is caused by that at switching-off of system of machine ERV (an electric working shaft) owing to various loading weights on shaft and forces of friction and various time free running-out stop with any positions of rotors of engines and at repeated start-up can be dispersed not synchronously.

Перед каждым пуском двигателей электромеханической системы синхронного вращения необходимо проводить предварительную синхронизацию двигателей системы, т.е. установить роторы двигателей в одинаковое угловое положение. Синхронизация необязательна только в случае согласованного останова двигателей системы и исключения перемещения рабочих механизмов до следующего пуска, а также если нагрузочные моменты на валах системы достаточно велики и не дают возможности асинхронного разгона двигателей [1]. В случае кратковременного останова системы рекомендуют не отсоединять машины системы от сети, что не всегда выполнимо или же связано с рядом технических неудобств.

Необходимость предварительной синхронизации обусловливается тем, что при отклонении системы, машины двигателей системы, вследствие различных нагрузочных масс на валах и сил трения, имея различные времена свободного выбега, останавливаются с произвольными положениями роторов двигателей, и при повторном пуске могут разгоняться не синхронно. Лишь в исключительных случаях, при малых начальных углах рассогласования и благоприятных нагрузочных массах, двигатели системы могут самосинхронизироваться и вращаться синхронно. Процесс предварительной синхронизации двигателей систем электрических валов описан довольно подробно [2, 3]. Ниже остановимся лишь на особенностях предварительной синхронизации пассивных двигателей системы с RLC в цепи роторов.

Возможная схема надежной трехступенчатой предварительной синхронизации представлена на рис. 1а. После включения ключа K_1 происходит первая ступень предварительной синхронизации (рис. 1б), пространственный сдвиг между векторами полей D_1 и D_2 ротора равен $\theta = 60$ электрических градусов. Включая ключ K_2 , переводим систему на вторую ступень синхронизации (рис. 1в) совпадающими направлениями полей, ключом K_3 производится пуск системы в работу (рис. 1г).

При больших резонансных скольжениях, близких к $Sp=1$, токи системы в период синхронизации могут достигать недопустимых величин, так как весь процесс синхронизации будет происходить при резонансных скольжениях. Для ограничения токов необходимо шунтировать емкость в цепи ротора или вводить дополнительные активные сопротивления. Уравнительная составляющая момента, как показывают результаты экспериментального исследования от этого практически изменяются мало.

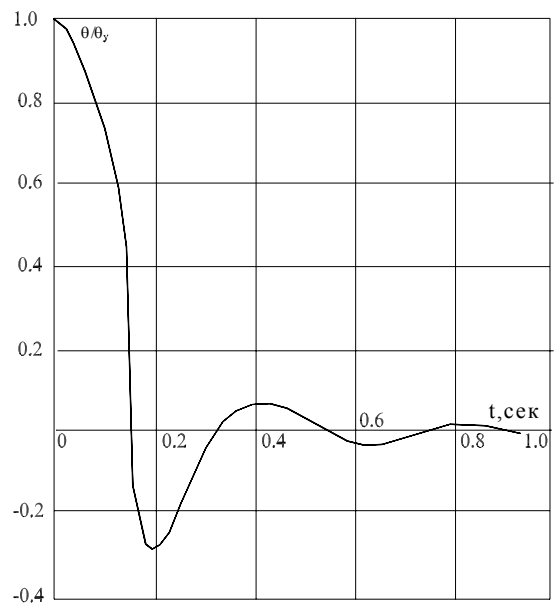
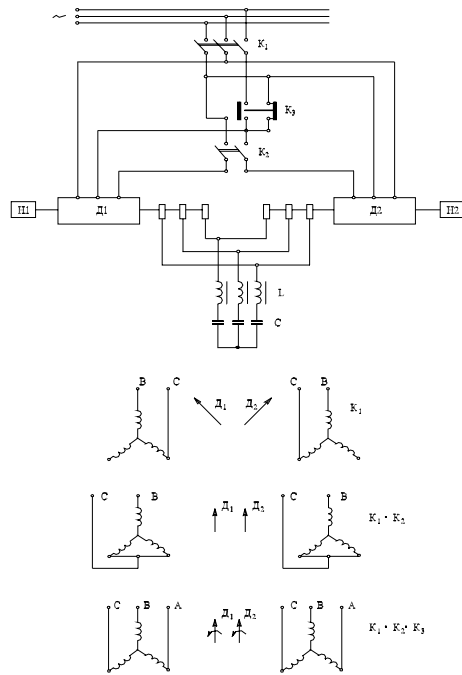


Рис. 1. Схема предварительной синхронизации двигателей ЭМС СВ.

Рассмотрим изменение угла рассогласования во времени при предварительной синхронизации ротора двигателя по представленным схемам, полагая, что один из двигателей системы заторможен или имеет намного большую маховую массу на валу.

При однофазном включении статоров двигателей системы приводные моменты в системе отсутствуют, остаются лишь уравнительные моменты. Можно записать уравнения динамического режима при синхронизации, учитывая, что

$$M_{1(2)} = FM_c \sin \theta. \tag{1}$$

Для первой ступени предварительной синхронизации без общих сопротивлений в цепях роторов $M_c = 1/2M_m$, для второй ступени $M_c = 2/3M_m$.

При синхронизации ЭМС СВ без отклонения общих сопротивлений в цепях роторов момент синхронизации M_c определяется в виде:

$$M_c = \frac{M_p D}{S_p^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{D_1}{S_p}\right)^2} - \frac{1 - S_p^1}{1 + \left[\frac{D_1}{S_p} (1 - S_p^2)\right]^2} \right] - \frac{M_p D}{S_{p00}^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{D_1}{S_{p00}}\right)^2} - \frac{1 - S_p^1}{1 + \left[\frac{D_1}{S_{p00}} (1 - S_{p00}^2)\right]^2} \right], \tag{2}$$

где $S_{p00} = 2 - S_p$.

Тогда уравнение движения ЭМС СВ при предварительной однофазной синхронизации, можно записать в виде:

$$j1 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + K_{TP} \frac{d\theta}{dt} - Mc \sin \theta + M_{НАГ1} = 0, \quad (3)$$

где K_{TP} – коэффициент трения; $M_{НАГ1}$ – нагрузка на валу двигателя.

После некоторых упрощений, преобразований и решения уравнений (3) с начальными условиями $t=0$, $\theta = \theta_{НАЧ}$, $d\theta / dt=0$ относительно угла рассогласования можно получить:

$$\theta = -\theta_y + \frac{\theta_{НАЧ} + \theta_y}{\sqrt{1-\lambda^2}} e^{j\alpha \cos 1} * \sin[\omega \cos 1] \sqrt{1-\lambda^2} t + \arctg \frac{\sqrt{1+\lambda^2}}{\lambda} \quad (4)$$

где $\theta_y = \frac{M_{НАЧ1}}{Mc}$; $\omega \cos 1 = \sqrt{\frac{Mc}{j_1}}$; $\lambda = \frac{K_{TP}}{\sqrt{j_1 Mc}}$.

Движение ротора при синхронизации имеет направление движения ротора, поэтому значение угла рассогласования получаем решением дифференциального уравнения (3) с новыми начальными условиями а именно: начальный угол равен конечному углу первого этапа, $t=0$ и $d\theta / dt=0$. время изменения направления вращения определяется как

$$t = \frac{\pi}{\omega_{\cos 1} \sqrt{1+\lambda^2}} \quad (5)$$

Рассчитанная по формуле (4) кривая переходного процесса при предварительной синхронизации двух двигательной ЭМС СВ приведена на рис. 1. Далее в работе рассмотрены результаты экспериментальной проверки, которые подтверждают расчетную кривую.

Синхронизация положений роторов двигателей ЭМС СВ на ходу довольно сложная задача. Обычно, в случае необходимости такой синхронизации рекомендуют использовать муфты скольжения, которые позволяют, не отключая двигатели системы, включать или отключать нагрузку на двигателях [4]. Для ЭМС СВ подобное отключение нагрузки на валу одного из двигателей может привести к срыву синхронизации, так как не обеспечивается необходимая минимальная нагрузка на валу. Предлагаемая схема синхронизации двигателей пассивной схемы ЭМС СВ на ходу представлена на рис. 2а. Система имеет равные сопротивления в цепях роторов каждого из двигателей ($Z_1=Z_2$) и схему слежения за роторными токами двигателей, собранную на базе трансформаторов тока в одноименных фазах каждого двигателя или же для более точного слежения за разницей роторных токов во всех трех фазах. При равенстве нагрузок на валах двигателей двух двигательной ЭМС СВ угол рассогласования систем $\theta=0^0$ а роторные токи $I_{21}=I_{22}$ равны как по фазе, так и по амплитуде. При этом на входе транзистора T_1 , работающего в ключевом режиме, сигнал отсутствует и реле Р обесточено. Нормально- замкнутые контакты реле Р запитывают контактор Л и система включена по схеме ЭРВ с общим сопротивлением в цепи роторов. В случае, если $\theta \neq 0$, и $I_{21} \neq I_{22}$, на величину большую, чем допустимо, появляется сигнал на базе T_1 , достаточный для его открывания. Реле Р обрывает контакты в цепи питания Л, которая в свою очередь разрывает уравнительную цепь системы, подключая двигатели на автономные двигательные режимы с сопротивлениями $Z_1=Z_2$ в роторе.

Допустим, что в ходе работы равномерно нагруженной ЭМС СВ произошел срыв синхронизации за счет внезапного импульса нагрузки на одном из двигателей системы. Резкое возрастание одного из токов роторов способствует появлению сигнала на базе транзистора T_1 (время открывания которого подобрано по максимальной разнице роторных токов потенциометрами R_3, R_4 примерно при $\theta=90^0$). В случае, если $\theta > 90^0$, системы тем самым временно включают двигатели в автономной режим, которые с сопротивлением $Z_1=Z_2$, как известно, работают на тех же механических характеристиках, что и равномерно нагруженные с сопротивлением $Z=Z_{1(2)}/2$ в общей цепи роторов. Следовательно, двигатели после исчезновения возмущающего сигнала вновь приблизятся к точке $S_1=S_2$

и при $\theta < 90^\circ$ обесточенное реле Р включит контакты Л в уравнивательной цепи, двигатели вновь включатся по схеме ЭМС СВ. разгона двигателей до синхронной скорости, как это наблюдается в схемах ЭРВ, не произойдет.

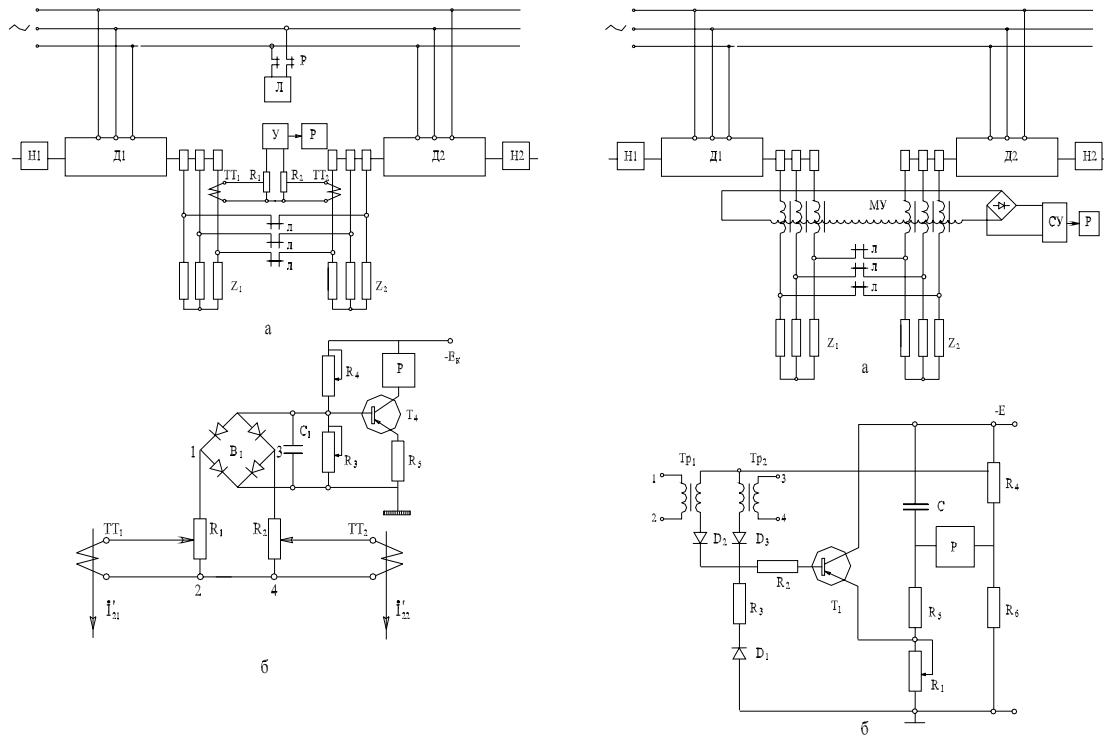


Рис. 2. Схема синхронизации двигателей ЭМС СВ на ходу.

При использовании ЭМС СВ (рис. 2б) с демпфирующими сопротивлениями ДН в уравнивательной цепи можно упростит схему синхронизации, осуществляя слежение за уравнительным током системы по управляющей обмотке магнитного усилителя, используемого в качестве дополнительной индуктивности по схеме (рис. 2а). Согласно этой схеме, силовые обмотки ДН в уравнивательной цепи системы включаются встречно и в случае равенства $I'_{21} = I'_{22}$ в обмотке управления магнитного усилителя суммарная ЭДС равна нулю. Если $I'_{21} \neq I'_{22}$, в обмотке управления наводится ЭДС, пропорциональная уравнительному току, она через выпрямитель действует на базу Т₁. Далее схема может работать аналогично ранее рассмотренной схеме. Может обеспечивать также и раздельной пуск двигателей системы аналогичным образом, при равных или близких друг другу нагрузках на валах двигателей системы, работа на автономные сопротивления, не выйдут на одинаковые скорости и рассогласования не произойдет. Для более качественного слежения за роторными токами, можно использовать схему слежения непосредственно за фазой роторных токов, осуществляя включение уравнивательной цепи при $\theta < 90^\circ$ (рис. 2б). Но, как показывают результаты экспериментальной проверки, в зоне жестких характеристик угол рассогласования системы с увеличением разницы нагрузок на валах двигателей увеличивается очень мало. Поэтому для зоны мягких характеристик, где амплитуды роторных токов изменяются незначительно, лучше использовать вторую схему со слежением за фазой роторных токов.

Следовательно, в механизмах, требующих согласованного вращения, как правило, требуется согласованный пуск и согласованный останов двигателей системы. Кроме этого, остановка двигателей с одинаковыми угловыми положениями облегчает повторный пуск системы, исключая предварительную синхронизацию системы. Поэтому синхронное торможение системы так же, как и предварительная синхронизация является важным режимом ЭМС СВ и требует рассмотрения.

Возможны различные виды согласованного останова двигателей ЭМС СВ. Наиболее просто можно осуществить согласованный останов двигателей отключением одного из проводов статоров двигателей системы с одновременным увеличением общего сопротивления в цепях роторов с таким расчетом, что критическое скольжение системы равнялось примерно $S_{m1} = 2/50$. В этом случае резко падают приводные составляющие моментов, и двигатель ЭМС СВ согласованно останавливается, имея на валах лишь уравнивающие моменты. Для сокращения свободного выбега и более точного останова двигателей с углом $\theta = 0$ можно применить режим динамического торможения ЭМС СВ.

Литература

1. Колоницкий М.И., Макеев Ю.Н. Некоторые особенности работы системы электрического вала с применением машин двойного питания // Легкая промышленность. – 1971. – Вып. 1. – С. 32–35.
2. Садовский И.М. Согласованное вращение асинхронных двигателей // ГЭИ. – 1978. – 135 с.
3. Унгу Ф., Йордан Г. Системы согласованного вращения асинхронных двигателей. – М.-Л.: Энергия, 1971. – 182 с.
4. Иог В.И. Состояние и перспективы развития электропривода по системе “электрический рабочий вал”. – М.: Информэлектро, 1978. – 38 с.