

АЛГОРИТМ ОЧЕРЕДНОСТИ ЗАПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

проф. В.Е. Пустоваров, к.т.н. А.Б. Егоров

Рассмотрены особенности самозапуска асинхронных двигателей, подключенных к общей шине, и алгоритм программы определения оптимальной очередности пуска двигателей.

При расчетах самозапуска группы асинхронных двигателей сталкиваются с достаточно сложными схемами, но особенности самозапуска удобно рассмотреть на примере простейшей схемы (рис. 1), в которой асинхронные двигатели подключены к общим шинам со статической нагрузкой $Z_n = \text{const}$. Эти шины связаны с не зависящей от режима двигателей ЭДС системы через сопротивление системы.

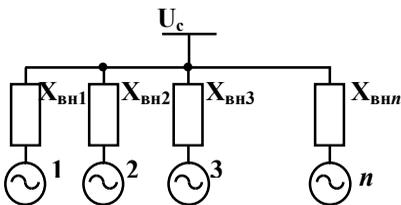


Рис. 1. Схема подключения двигателей к шине общего питания

В большинстве случаев параметры двигателей выражены в собственных относительных единицах и не являются одинаковыми. Даже однотипные агрегаты имеют различия в параметрах, а именно в коэффициентах нагрузки двигателей, значения критического напряжения, т.е. того критического напряжения, при котором происходит остановка двигателя при данной нагрузке, и т.п. При каскадном самозапуске, когда вся шина с находящимися на ней двигателями

(рис. 1) подключается к напряжению сети, двигатели начинают переходить от режима короткого замыкания к режиму номинальной нагрузки. Однако, в этих случаях происходит просадка напряжения, т.е. уменьшение его до значений ниже номинального. В группе двигателей могут оказаться двигатели, у которых значение критического напряжения выше напряжения просадки, и такие двигатели заведомо не пройдут точку максимального момента и произойдет их остановка.

Избежать такую ситуацию можно, если проводить поочередный запуск асинхронных двигателей. Определению критериев очередности включения в сеть асинхронных двигателей посвящена данная статья.

Основным критерием очередности пуска асинхронных двигателей предлагается выбрать значение внешнего сопротивления для каждого двигателя из любой группы двигателей, включенных на шину общего питания. Использование именно внешнего сопротивления позволяет

учесть различия в параметрах двигателей. При внешнем сопротивлении $X_{вн}$, не превышающем некоторую величину $X_{крит}$ самозапуск двигателя возможен из неподвижного состояния. Располагая значением $X_{крит}$ для заданной группы двигателей и зная значение $X_{вн}$ для каждого из них, можно судить о возможности самозапуска того или иного двигателя группы: при $X_{вн} < X_{крит}$ самозапуск заведомо возможен, при $X_{вн} > X_{крит}$ двигатель не пройдет точку максимального момента своей механической характеристики и пуск не произойдет.

Для определения значения $X_{крит}$ необходимо знать асинхронные $M(s)$ и моментно-скоростные $M_{сопр}(s)$ характеристики двигателей, а также сопротивления схемы замещения каждого двигателя группы (рис. 2).

Пуск двигателя возможен, если для него выполняются условия:

$$U^2 M(s) > M_{сопр}(s); \quad s > s_{макс} \quad (1)$$

где U – напряжение на зажимах двигателя; $M(s)$ – асинхронная характеристика при номинальном напряжении.

Значения напряжения U , удовлетворяющие неравенству (1) для разных скольжений различны. Наиболее высокое напряжение требуется при таком скольжении, когда разность $M - M_{сопр}$ имеет наименьшее значение. Это скольжение назовем расчетным и обозначим s_p .

Особым является случай, когда $s_p = s_{макс}$. Это наблюдается у двигателей с большим пусковым моментом или малым моментом сопротивления нагрузки. Для таких двигателей условия пуска весьма благоприятны и допустимые значения напряжений на зажимах двигателя сравнительно малы. Если это имеет место для всех двигателей группы, то их самозапуск даже при больших внешних сопротивлениях будет успешным.

Из (1) и определения расчетного скольжения следует, что критическое минимально необходимое для пуска двигателя напряжение рассчитывается по формуле

$$U_{крит} = \sqrt{M_{сопр}(s_p) / M(s_p)} \quad (2)$$

При рассмотрении группы двигателей необходимо иметь ввиду, что пуск первого двигателя возможен при таком предельно большом внешнем сопротивлении, при котором напряжение на шинах равно критическому $U_{крит}$, а все остальные двигатели заторможены. Максимальное сопротивление, при котором возможен пуск второго двигателя, следует определять при следующих условиях:

- первый двигатель уже достиг частоты вращения ротора, близкой к номинальной;
- остальные двигатели имеют скольжение больше максимального.

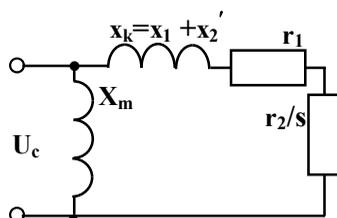


Рис. 2. Схема замещения асинхронного двигателя

Критическое сопротивление для любого двигателя группы определяется выражением

$$X_i = (1 - Q_{\text{крит}i}) \left(\frac{Q_i}{U_{\text{крит}i}} - Q_{\text{норм}} \right), \quad (3)$$

где $Q_{\text{норм}}$ – реактивная нагрузка всех нормально работающих двигателей группы; Q_i – реактивная мощность, состоящая из трех компонентов, определяемых по формулам (4 – 6).

Суммарная реактивная мощность намагничивания запустившихся двигателей определяется соотношением

$$Q_{mi} = U_{\text{крит}i}^2 \sum_1^i \frac{S_{\text{ном}}}{X_{mi} S_{\Sigma}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{ном}}$, S_{Σ} – номинальная мощность двигателя и суммарная мощность всех двигателей группы соответственно; X_{mi} – реактивное сопротивление магнитного зазора двигателя (рис. 2).

Реактивная мощность уже запустившихся двигателей группы определяется по формуле

$$Q_{si} = U_{\text{крит}i}^2 \sum_1^i \frac{S_{\text{ном}}}{2X_{k0i} S_{\Sigma}} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2k_{zi} X_{k0i} \cos f_i}{U_{\text{крит}i}} \right)^2} \right), \quad (5)$$

где k_{zi} – коэффициент загрузки каждого двигателя; X_{ki} – индуктивное сопротивление двигателя по схеме замещения (рис. 2).

Реактивная мощность еще заторможенных двигателей группы равна

$$Q_{ki} = U_{\text{крит}i}^2 \sum_n^{n-i} \frac{S_{\text{ном}}}{2X_{k1i} S_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где X_{ki} – индуктивное сопротивление двигателя по схеме замещения при $s=1$.

Реактивная нагрузка всех нормально работающих двигателей находится из выражения

$$Q_{\text{норм}} = \sum_i^n \frac{S_{\text{ном}}}{2X_{k0i} S_{\Sigma}} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2k_{zi} X_{k0i} \cos f_i}{1} \right)^2} \right). \quad (7)$$

Исходя из рассмотренного, предлагается следующий алгоритм расчета критического сопротивления $X_{\text{крит}}$ для группы двигателей: для каждого двигателя, последовательно включаемого в работу, определяется $X_{\text{крит}i}$; из всех $X_{\text{крит}i}$, полученных для двигателей группы, выбирается наименьшее $X_{\text{крит.мин}}$, которое и будет определяющим для оценки возможности пуска этой группы двигателей; если $X_{\text{вн}}$ будет больше самого минимального $X_{\text{крит.мин}}$ для двигателей этой группы, то пуск всех двигателей будет невозможен.

Однако, если изменить очередность пуска двигателей, то изменятся значения реактивной мощности рассеивания запустившихся двигателей и реактивной мощности рассеивания еще заторможенных машин, а это в свою очередь приведет к изменению $X_{крит}$ для каждого двигателя группы. Минимальное значение $X_{крит.мин}$ может стать меньше, что благоприятно, либо больше, что негативно скажется на возможность запуска всех двигателей группы.

Для того, чтобы определить оптимальную очередность запуска асинхронных двигателей одной группы (рис. 3), необходимо перебрать все варианты поочередного запуска этих двигателей. Эта задача трудоемкая, однако, если применить вычислительную технику, то это позволит решать ее быстро и с любым количеством электрических двигателей. Та очередность подключений двигателей к сети, при которой будет получено минимальное $X_{крит.мин}$, и будет оптимальной. Разработана и апробирована программа для ПЭВМ, позволяющая при задании основных параметров двигателей одной группы (k_{zi} , $U_{крит}$, X_m , X_{k0} , X_{k1} , $\cos f$) определять оптимальную очередность подключения этих двигателей.

В результате проведенного анализа возможностей запуска группы асинхронных двигателей, подключенных к общим шинам, предложен алгоритм очередности пуска группы асинхронных двигателей и приведен блок-схема разработанной и апробированной программы.

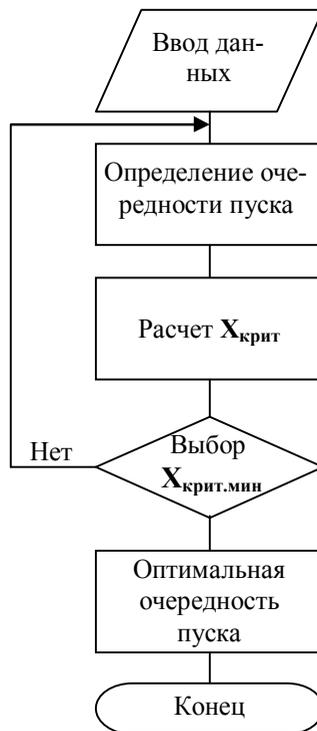


Рис. 3. Блок - схема программы определения оптимальной очередности пуска двигателей

Поступила 05.09.2001

ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич, канд. техн. наук, профессор, профессор Украинской инженерно-педагогической академии. В 1961 году закончил Харьковское высшее авиационно-инженерное военное училище. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика. Раб. тел. 206-356. E-mail: vladimir@ic.kharkov.ua.

ЕГОРОВ Алексей Борисович, канд. техн. наук, доцент Украинской инженерно - педагогической академии. В 1990 году закончил Харьковский политехнический институт. Область научных интересов – электроэнергетика. Раб. тел. 206-356.

E-mail: alexey_b_vegorov@hotmail.ru.