

# ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ОЧЕРЕДЕЙ ЗАПУСКА АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ОТ АВАРИЙНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Корниенко С. В., Сивокобыленко В. Ф.

Донецкий Национальный Технический Университет

Кафедра “Электрические станции”

Адрес электронной почты: [skorn888@ukr.net](mailto:skorn888@ukr.net)

## **Abstract:**

*Kornienko S. V., Sivokobylenko V. F. Optimization of a choice of the turns of a start of an asynchronous loading from the emergency power supplies. At electrical stations as the emergency power supply the diesel engine - generator providing a feed in emergency operation of especially responsible asynchronous loading is provided with automatic start. For successful start for the minimal time of all mechanisms it is required to define quantity of turns, to generate their structure, having defined in each of them total capacity of asynchronous loading and time of its connection.*

## **1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ И СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕКЦИЙ НАДЕЖНОГО ПИТАНИЯ ЗУТЭС-2.**

Согласно нормативным документам на тепловых электростанциях для разворота собственных нужд станции в аварийном режиме при полной потере питания, как рабочего, так и резервного, предусматриваются дизель-генераторные установки. На ЗуТЭС-2 для этих целей установлены два дизель-генератора на четыре блока: ДГСН-1,2 для блоков 1 и 2 и ДГСН-3,4 для блоков 3 и 4. Схема питания собственных нужд 0,4 кВ от дизель-генератора ДГСН-1,2 приведена на рис. 1. От дизель-генераторов запитываются не все секции с.н. станции, а только секции надежного питания, к которым подсоединены двигатели очень важных насосов системы смазки турбины и маслонасосов уплотнения вала генератора, а также валоповоротных устройств.

В нормальном режиме работы секции надежного питания (511Б, 512Б) соединены секционными выключателями с основными секциями и могут получать питание через эти выключатели от рабочего (511Т, 512Т, 521Т, 522Т) или

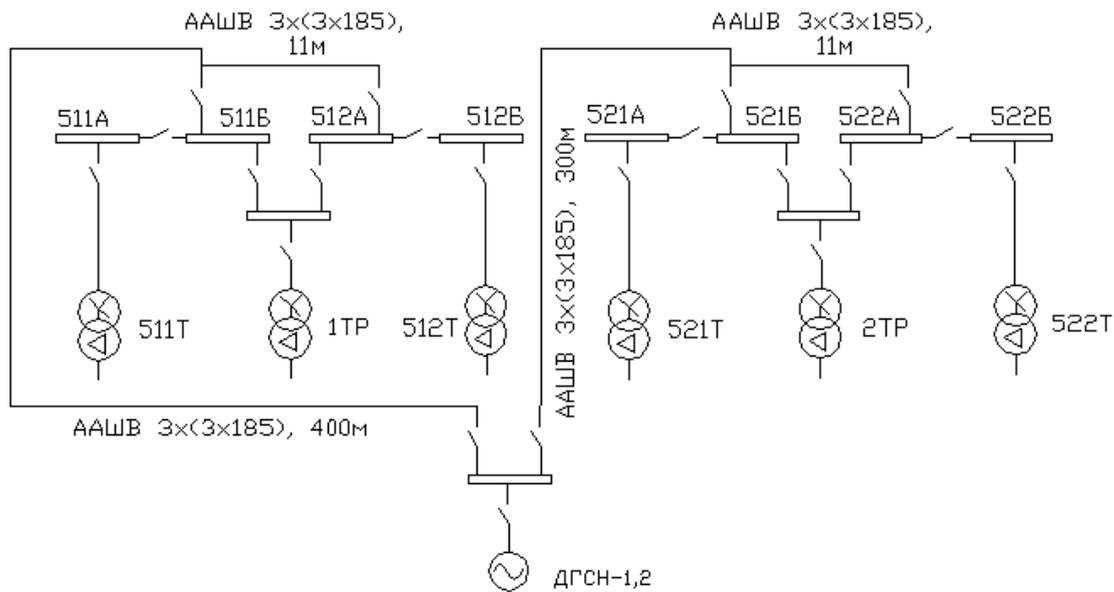


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема надежного питания 0,4 кВ блоков 1,2

резервного трансформаторов (1ТР, 2ТР). В случае потери напряжения на рабочем и на резервном трансформаторе секции надежного питания отключаются секционным выключателем от основных секций. Дизель-генератор автоматически включается в работу и начинает питать секции надежного питания. Включение секций производится ступенчато, сначала 511Б, 522Б, а затем 512Б, 521Б.

Для обеспечения нормальной работы самих дизель-генераторов предусмотрены собственные нужды дизель-генератора. Особенностью принятой схемы питания и резервирования собственных нужд станции является то, что с.н. дизель-генератора в нормальном режиме работы блока питаются от секции 511Б и 531Б, а после запуска дизель-генератора от самого ДГ, что затрудняет выполнение чувствительной и селективной защиты с.н. ДГ.

Общая характеристика нагрузок ДГСН:

Насосы системы смазки турбины (МСН) – предназначены для обеспечения непрерывной циркуляции масла в турбине.

Маслонасосы уплотнения вала генератора (МНУ) – предназначены для обеспечения герметичности и невозможности выхода водорода во внешнюю среду.

Валоповоротные устройства (ВПУ) – предназначены для обеспечения вращения вала турбины при остановке блока во избежание деформаций.

Исходные данные по асинхронным двигателям, включаемым в схему надёжного питания, и дизель-генератора приведены в таблицах 1.1 и 1.2 соответственно.

Задачей расчета является проверка возможности запуска двигателей указанных механизмов за возможно короткое время от дизель-генератора, который является источником ограниченной. Эту проблему будем решать на основе математической модели всей системы надежного питания.

Таблица 1.1 – Паспортные данные по асинхронным двигателям 0,4 кВ схемы надёжного питания

Станционное обозначение	Тип двигателя	$P_H$ , кВт	$I_H$ , А	n, об/мин	cos $\phi$ , о.е.	к.п.д., %	$K_I$ , о.е.	$M_{п}$ , о.е.	$M_{м}$ , о.е.	$GD$ , г*м <sup>2</sup>
1МНУ-А 1МНУ-Б 2МНУ-А 2МНУ-Б	4А-160М2 У3	18,5	34,6	2937	0,92	88,5	7,0	1,4	2,2	0,000212
1МНС-А 1МНС-Б	А2-92-6	75	140	985	0,89	92,5	7,0	1,1	1,8	0,007
2МНС-А 2МНС-Б	4А-160М2 У3	110	200	985	0,9	93,0	6,0	1,0	1,9	0,028
1ВПУ 2ВПУ	АОС2-91-4	61	109	1480	0,92	92,5	7,0	1,1	2,0	0,00432

Таблица 1.2 – Паспортные данные дизель-генератора

ДИЗЕЛЬ			ГЕНЕРАТОР				
Марка	$P_{НОМ}$ , кВт	$P_{макс}$ , кВт	Марка	$P$ , кВт/кВА	$U$ , В	к.п.д., %	$I_{возб}$ , А
124Н18/20	540	590	СГДМ-11-46-4	500/ 625	400	93,5	170

## 2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДВУХКОНТУРНОЙ СХЕМОЙ ЗАМЕЩЕНИЯ

При выводе дифференциальных уравнений для схемы (рис. 2.1) принимаются следующие допущения: статор и ротор имеют симметричные трехфазные обмотки; распределение магнитного поля каждой обмотки вдоль окружности воздушного зазора синусоидально; отсутствуют потери в стали; наличие пазов и неравномерность воздушного зазора не влияют на магнитную проводимость.

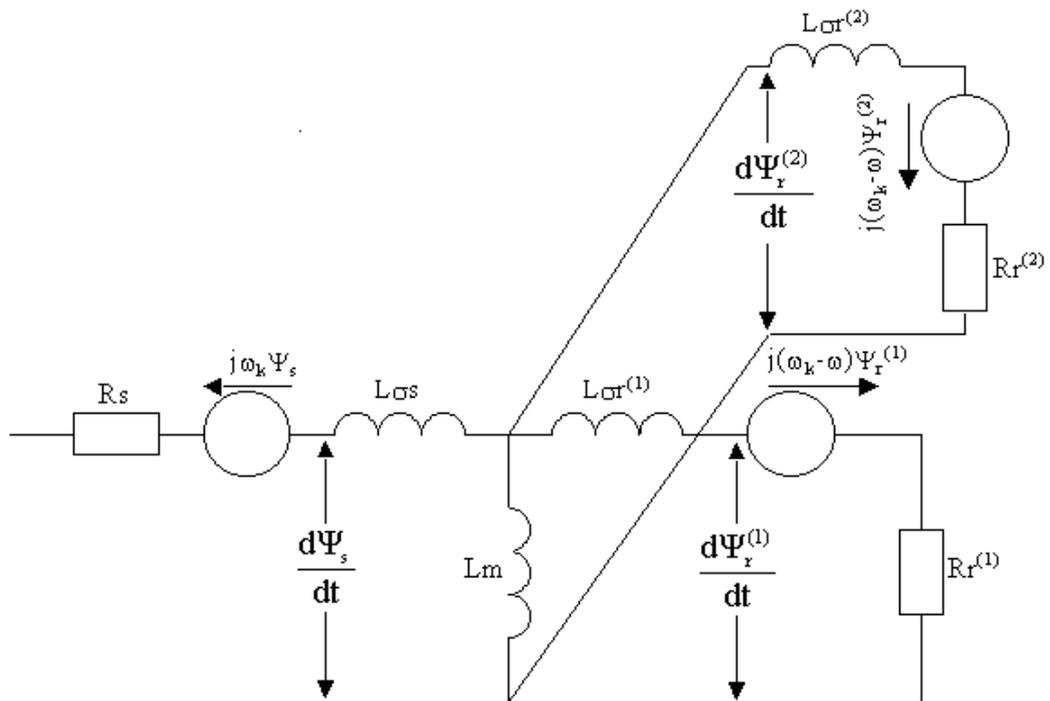


Рисунок 2.1 – Схема замещения глубокопазного асинхронного двигателя с двухконтурным ротором при переходных процессах

Основные векторные уравнения для асинхронной машины с многоконтурным ротором в координатных осях, вращающихся с произвольной угловой скоростью  $\omega_k$ , можно представить в следующем виде [1]:

$$U_s = i_s R_s + p \Psi_s + j \omega_k \Psi_s ; \quad (2.1)$$

$$0 = i_r^{(1)} R_r^{(1)} + p \Psi_r^{(1)} + j(\omega_k - \omega) \Psi_r^{(1)} ; \quad (2.2)$$

.....

$$0 = i_r^{(k)} R_r^{(k)} + p \Psi_r^{(k)} + j(\omega_k - \omega) \Psi_r^{(k)} ; \quad (2.3)$$

$$\Psi_s = L \sigma_s i_s + L_m i_m ; \quad (2.4)$$

$$\Psi_r^{(1)} = L \sigma_r^{(1)} i_r^{(1)} + L_m i_m ; \quad (2.5)$$

.....

$$\Psi_r^{(k)} = L \sigma_r^{(k)} i_r^{(k)} + L_m i_m ; \quad (2.6)$$

$$\Psi_m = L_m * i_m, \quad (2.7); \quad i_m = i_s + \sum I_r^{(k)}; \quad (2.8)$$

$$M = 3/2 * p_1 * \Psi_s \times i_s, \quad (2.9); \quad p\omega = p_1 / [M - M_c(\omega)]. \quad (2.10)$$

Здесь  $i_s, i_r^{(1)}, i_r^{(k)}, \Psi_s, \Psi_r^{(1)}, \Psi_r^{(k)}, L\sigma_s, L\sigma_r^{(1)}, L\sigma_r^{(k)}$  – соответственно результирующие векторы токов, потокосцеплений, индуктивностей рассеяния статора, первого и k-ого контуров ротора;  $L_m$ - взаимоиндуктивность обмоток статора и ротора;  $i_m$ - ток в ветви намагничивания;  $M_c$ - момент сопротивления на валу;  $I$ - суммарный момент инерции привода;  $\omega$ - угловая скорость вращения ротора;  $R_s(R_r)$ - активное сопротивление фазы обмотки статора (ротора);  $p$ - символ дифференцирования по времени;  $p_1$ - число пар полюсов.

С учетом влияния питающей сети система дифференциальных уравнений приобретает вид:

$$\begin{aligned} p\Psi_{s\alpha} &= U_{дв.\alpha} - R_s/L\sigma_s * \Psi_{s\alpha} + R_s/L\sigma_s * \Psi_{m\alpha}; \\ p\Psi_{s\beta} &= U_{дв.\beta} - R_s/L\sigma_s * \Psi_{s\beta} + R_s/L\sigma_s * \Psi_{m\beta}; \\ p\Psi_{r\alpha}^{(1)} &= -R_r^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} * \Psi_{r\alpha}^{(1)} + R_r^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} * \Psi_{m\alpha} - \omega * \Psi_{r\beta}^{(1)}; \\ p\Psi_{r\beta}^{(1)} &= -R_r^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} * \Psi_{r\beta}^{(1)} + R_r^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} * \Psi_{m\beta} + \omega * \Psi_{r\alpha}^{(1)}; \\ p\Psi_{r\alpha}^{(2)} &= -R_r^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} * \Psi_{r\alpha}^{(2)} + R_r^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} * \Psi_{m\alpha} - \omega * \Psi_{r\beta}^{(2)}; \\ p\Psi_{r\beta}^{(2)} &= -R_r^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} * \Psi_{r\beta}^{(2)} + R_r^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} * \Psi_{m\beta} + \omega * \Psi_{r\alpha}^{(2)}; \\ \Psi_{m\alpha} &= 1/B * [\Psi_{s\alpha}/L\sigma_s + \Psi_{r\alpha}^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} + \Psi_{r\alpha}^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} - \Psi_{m\alpha}/L_m]; \\ \Psi_{m\beta} &= 1/B * [\Psi_{s\beta}/L\sigma_s + \Psi_{r\beta}^{(1)}/L\sigma_r^{(1)} + \Psi_{r\beta}^{(2)}/L\sigma_r^{(2)} - \Psi_{m\beta}/L_m]; \\ M &= 3/2 * p_1 / L\sigma_s * [\Psi_{m\alpha} * \Psi_{s\beta} - \Psi_{s\alpha} * \Psi_{m\beta}]; \\ p\omega &= p_1 / I * [M - M_c(\omega)]; \\ i_{s\alpha} &= (\Psi_{s\alpha} - \Psi_{m\alpha}) / L\sigma_s; \\ i_{s\beta} &= (\Psi_{s\beta} - \Psi_{m\beta}) / L\sigma_s; \\ P &= 3/2 (U_{дв.\alpha} * i_{s\alpha} + U_{дв.\beta} * i_{s\beta}); \\ U_{дв.\alpha} &= U_{s\alpha} - R_c * i_{s\alpha} - L_c * di_{s\alpha}/dt; \\ U_{дв.\beta} &= U_{s\beta} - R_c * i_{s\beta} - L_c * di_{s\beta}/dt; \end{aligned}$$

Анализируя систему уравнений, можно прийти к заключению, что при учете только явления вытеснения тока в роторе все коэффициенты в уравнениях являются постоянными, так как  $L_m, L\sigma_s, L\sigma_r^{(k)}$  неизменны. Модель позволяет исследовать режимы пуска, повторных включений, короткого замыкания.

### **3 РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Система дифференциальных уравнений (2.11) в создаваемой мной математической модели рассчитывается численным методом Рунге-Кутты четвёртого порядка. Сущность метода состоит в решении на каждом шаге цикла линейных уравнений при заданных начальных условиях, таким образом рассчитываются 4 коэффициента:

$$k_1=f(x_0);$$

$$k_2=f(x_0+k_1/2);$$

$$k_3=f(x_0+k_2/2);$$

$$k_4=f(x_0+k_3),$$

где  $x_0$  – заданное начальное значение переменной дифференциального уравнения вида  $dy=f(y)$ .

И лишь потом находим истинное решение дифференциального уравнения на  $n$ -ом шаге  $y_n$  по формуле:

$$y_n=y_{n-1}+1/6*[k_1+2*k_2+2*k_3+k_4].$$

Для решения линейных уравнений при определении коэффициентов  $k$  применяется метод Эйлера.

### **4 КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОЧЕРЕДЕЙ ЗАПУСКА АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ, ЗАПИТАННОЙ ОТ ИСТОЧНИКА ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ**

Основным критерием выбора очередей запуска асинхронной нагрузки является время запуска. Целью данной работы является выбор варианта, который бы имел минимальное время запуска. Также принимаются во внимание значения токов в статорах асинхронных двигателей и синхронном генераторе, падения напряжения в узлах схемы (оно должно быть минимальным). Произвести правильную оценку варианта помогают соответствующие осциллограммы, основной из которых является осциллограмма зависимости скорости вращения двигателей от времени. Именно по ней можно сделать вывод о целесообразности данного варианта очередей запуска. Пример такой осциллограммы приведен на рис. 4.1 для секций 511Б и 512Б при запуске трех двигателей в две очереди, в первой пускаются МНУ и ВПУ, а во второй – МСН. Время указано в относительных единицах по отношению ко времени, за которое ротор двигателя повернется на 1 радиан.

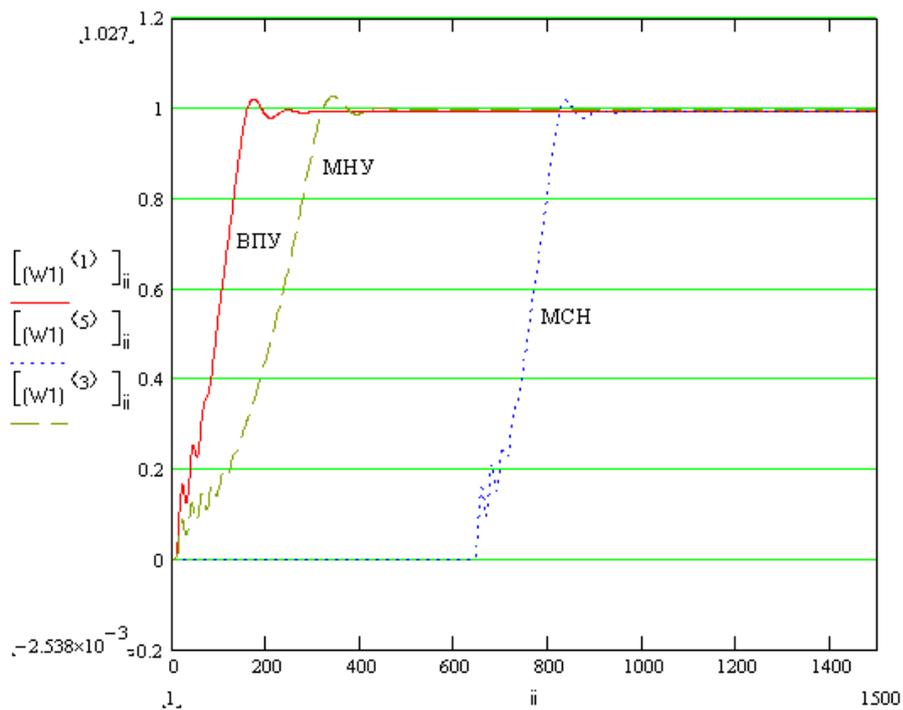


Рисунок 4.1 – Осциллограмма зависимости скорости вращения двигателей от времени

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивокобыленко В.Ф., Костенко В.И. Математическое моделирование электродвигателей собственных нужд электрических станций (учебное пособие): Донецк, ДПИ, 1979. –с.115
2. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 176 с.: ил.