

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.316. 621.313

Е.К.Ещин

О НЕОБХОДИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Существующая практика расчетов параметров, характеризующих состояние конкретной системы электроснабжения (СЭС), например, для рис.1 - параметров силового трансформатора, низковольтной пусковой аппаратуры, уставок максимальной токовой защиты, значений токов короткого замыкания (КЗ), параметров силовых кабелей и электродвигателей, основана на хорошо известных методах [1..5].

В результате определяются значения эксплуатационных параметров электрооборудования, а также рассчитываются по алгебраическим выражениям статические значения предельных и эксплуатационных напряжений и токов в системе.

Вместе с тем, здесь же [4,5] отмечена ограниченность применимости этих методик.

В [4] говорится, что «...Стандарт не устанавливает методику расчета токов при электромеха-

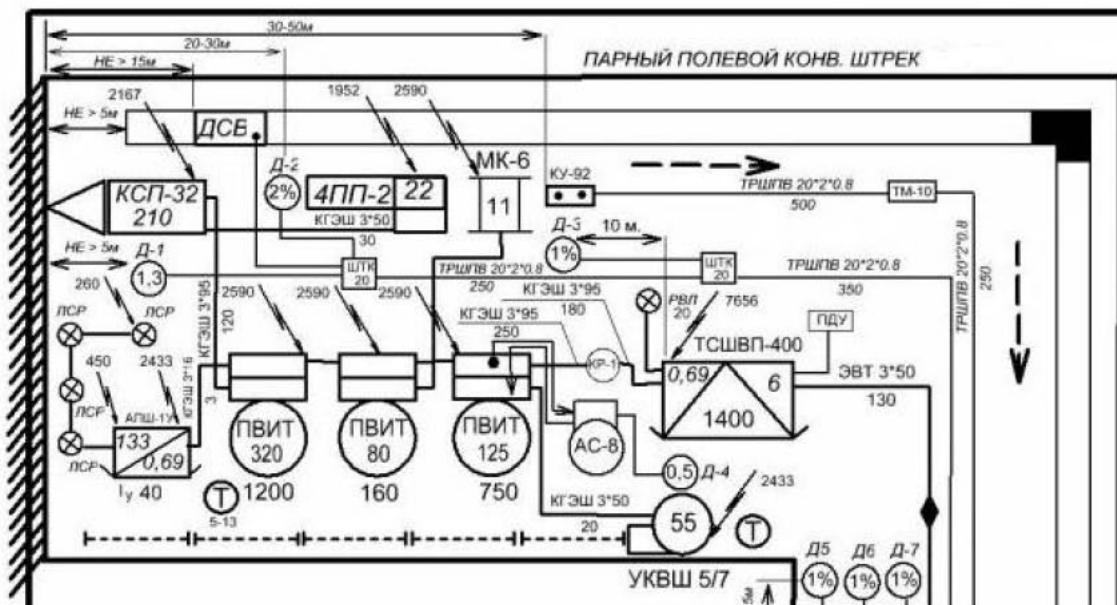


Рис. 1.Пример схемы электроснабжения как результат применения существующей практики расчетов

Электродвигатели приводов используемого оборудования по рис.1.

Оборудование	Привод	Тип электродвигателя	P, кВт	Порядок включения
Комбайн КСП-32 [11]	Исполнительный орган	2ЭДКОФ250LB4	110	4
	Перегружатель	ЗВР160S4	15	2
	Маслостанция	2ЭДКОФ250M4	55	1
	Конвейер	ЗВР160M4 (2 шт.)	18.5	3
	Насос закачки	АИУ90L4	2.2	0
Компрессорная установка УКВШ-5/7		2ЭДКОФ250M4	55	5
Комбайн 4ПП-2	Перегружатель	АИУ132M4 У2.5	11	6
Маневровая лебедка МК-6		ВАО51-4	7.5	7

нических переходных процессах с учетом изменения частоты вращения электрических машин».

В [5] - «...Если исходная расчетная схема (и соответственно схема замещения) является много-контурной, то апериодическую составляющую тока КЗ в произвольный момент времени следует определять путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений, составленных с учетом как индуктивных, так и активных сопротивлений всех элементов исходной расчетной схемы».

Это означает, что для СЭС добывающих и проходческих участков горных предприятий, где преобладают интенсивно изменяющиеся электродвигательные нагрузки, сопровождающиеся изменениями частоты вращения электродвигателей, необходимо проведение дополнительных динамических расчетов, позволяющих ответить на вопросы, сформулированные в [6], а именно, «...две из наиболее важными вопросами являются: - Какой величины будет протекать ток? – Как долго будет протекать ток?» (...two most important issues are: — how much current will flow? — how long will the current flow?).

Рассмотрим конкретную систему электроснабжения по рис.1., приведенную в http://elektromehanik.org.ua/_fr/1/6456771.jpg [Дата обращения - 01.02.2013]

Состав основного оборудования: проходческий комбайн КСП-32; проходческий комбайн 4ПП-2, используемый как перегружатель; маневровая лебедка МК-6; компрессорная установка УКВШ-5/7.

Параметры асинхронных электродвигателей (АД) и порядок их включения приведены в таблице. Длина кабельной линии от трансформатора ТСПВП-400 до максимально удаленного электродвигателя 550 м (без учета перемычек между пускателями).

Используемые кабели для организации энергоснабжения двигателей - КГЭШ 3*95, КГЭШ 3*50.

Электромагнитные параметры двигателей (активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора, цепи намагничивания) определены на основе информации, содержащейся в [7-9].

Состояние системы электроснабжения может быть описано совокупностью алгебраических и дифференциальных связей по [10] с дополнительным учетом емкостей в системе:

$$\begin{aligned} I_{s\alpha j} &= \frac{\Psi_{s\alpha j}}{L_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L_{sj}} \Psi_{r\alpha j}, & I_{s\beta j} &= \frac{\Psi_{s\beta j}}{L_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L_{sj}} \Psi_{r\beta j}, \\ I_{r\alpha j} &= \frac{\Psi_{r\alpha j}}{L_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L_{rj}} \Psi_{s\alpha j}, & I_{r\beta j} &= \frac{\Psi_{r\beta j}}{L_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L_{rj}} \Psi_{s\beta j}, \\ f_j^3 &= -R_{rj} I_{r\alpha j} - p_j \omega_j \Psi_{r\beta j}, & f_j^4 &= -R_{rj} I_{r\beta j} + p_j \omega_j \Psi_{r\alpha j} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^m L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} C_i \frac{dZ_{\alpha i}}{dt} &= U_{\alpha} - U_{s\alpha j} - \\ - \sum_{k=0}^m R_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} C_i Z_{\alpha i} &- \sum_{k=0}^m L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} \frac{1}{L_{si}} U_{s\alpha i} - \\ - \sum_{k=0}^m \left(L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} \left(-\frac{R_{si}}{L_{si}} I_{s\alpha i} - \frac{k_{ri}}{L_{si}} f_i^3 \right) \right) &- \sum_{k=0}^m \left(R_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} I_{s\alpha i} \right), \\ \sum_{k=0}^m L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} C_i \frac{dZ_{\beta i}}{dt} &= U_{\beta} - U_{s\beta j} - \\ - \sum_{k=0}^m R_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} C_i Z_{\beta i} &- \sum_{k=0}^m L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} \frac{1}{L_{si}} U_{s\beta i} - \\ - \sum_{k=0}^m \left(L_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} \left(-\frac{R_{si}}{L_{si}} I_{s\beta i} - \frac{k_{ri}}{L_{si}} f_i^4 \right) \right) &- \\ - \sum_{k=0}^m \left(R_{kv} \sum_{i=l_0}^{l_1} I_{s\beta i} \right), \\ \frac{dU_{s\alpha j}}{dt} &= Z_{\alpha j}, & \frac{dU_{s\beta j}}{dt} &= Z_{\beta j}, \\ \frac{d}{dt} \Psi_{s\alpha j} &= U_{s\alpha j} - R_{sj} I_{s\alpha j}, \\ \frac{d}{dt} \Psi_{s\beta j} &= U_{s\beta j} - R_{sj} I_{s\beta j}, \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\alpha j} &= f_j^3, & \frac{d}{dt} \Psi_{r\beta j} &= f_j^4, \end{aligned}$$

где параметры, начинающиеся с R и индексами s , r - активные сопротивления обмоток статоров и роторов АД, p_j - число пар полюсов, ω_j - геометрическая угловая скорость вращения ротора электродвигателя, Ψ_s , Ψ_r , и I_s, I_r с индексами α, β - составляющие потокосцеплений и токов статора и ротора по осям неподвижной системы координат, k, l - с индексами sj, rj коэффициенты электромагнитной связи и переходные индуктивности двигателей, j - в индексном обозначении определяет номер двигателя, l_0, l_1 - начальное и конечное значения индекса, определяющего номер двигателя, токи которого участвуют в формировании падения напряжения на k, v - участке кабельной сети.

Для использования в расчетной практике этой математической модели электромеханического преобразования энергии совокупностью N асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, находящихся в системе электроснабжения произвольной структуры разработано соответствующее программное обеспечение. Оно позволяет задавать конфигурацию системы электроснабжения, длины и параметры ветвей кабелей, количество электродвигателей, параметры электродвигателей, последовательности включения

или отключения электродвигателей для имитации реальных процессов пусков и отключений приводов машин, характера нагрузки на электродвигателях при моделировании режимов работы реальных машин.

На рис.2-6 приведены расчетные осциллограммы изменений амплитуд пит员ющего напряжения, токов и электромагнитных моментов при последовательном пуске восьми асинхронных электродвигателей, подключенных к источнику питания в соответствии с рис.1. Временные интервалы включения двигателей уменьшены с целью иллюстрации влияния изменения в режиме работы каждого из них на состояние остальных.

Пуски производились до уровней характерных значений моментов сопротивлений на валах электродвигателей.

При пуске АД 2ЭДКОФВ250М4 маслостанции комбайна КСП-32 потеря напряжения в течение 0.3 секунд составляет 10% от исходного действующего значения 690 В на ТСШВП-400. Дальнейшие пуски АД приводов перегружателя и конвейера (15, 18.5 кВт) незначительно увеличивают потерю напряжения. Пуск АД исполнительного органа КСП-32 (2ЭДКОФВ250LB4 – 110 кВт) вызывает потерю напряжения около 16%, а последующий пуск АД компрессорной установки мощностью 55 кВт вызывает кратковременную

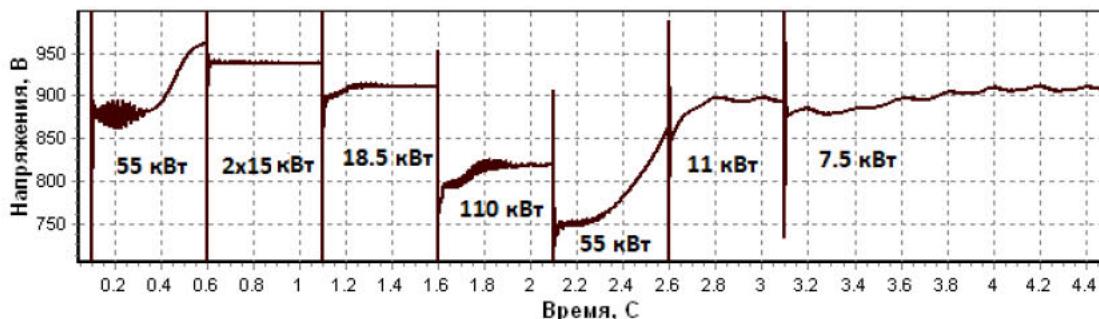


Рис. 3 Изменение амплитуды пит员ующего напряжения на двигателях комбайна КСП-32 при последовательном включении двигателей различной мощности

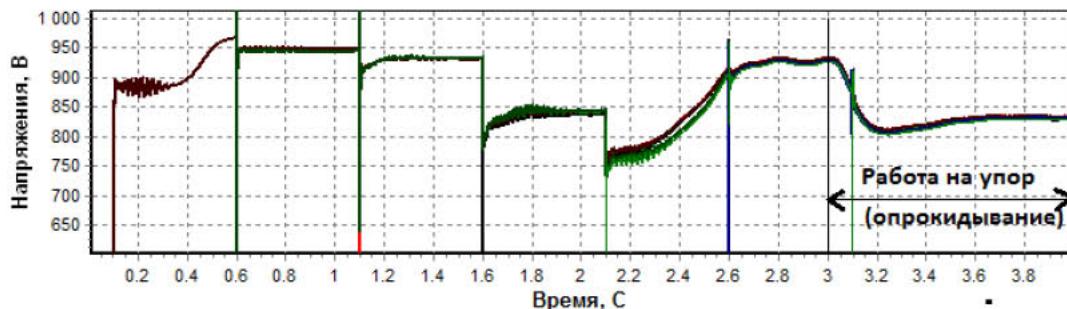


Рис. 3 Изменение амплитуды пит员ующего напряжения на двигателях комбайна КСП-32 при последовательном включении оборудования и возникновении перегрузки на исполнительном органе (АД 2ЭДКОФВ250LB4 110 кВт – режим опрокидывания при работе на упор)

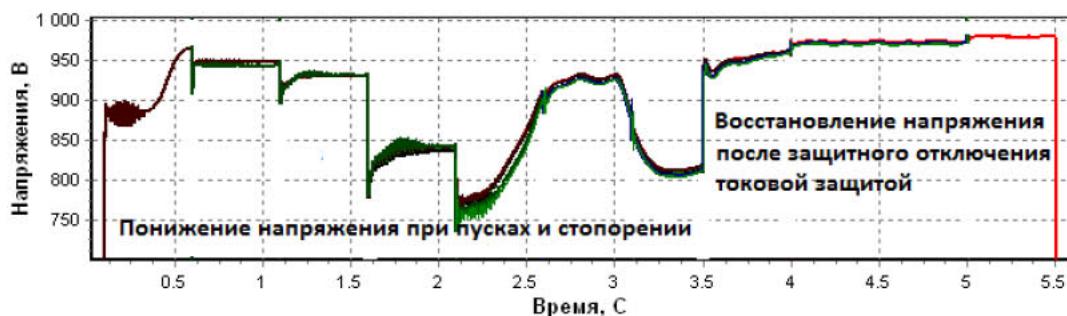


Рис. 3 Изменение амплитуды пит员ующего напряжения на двигателях комбайна КСП-32 при последовательном включении оборудования и возникновении перегрузки на исполнительном органе (АД 2ЭДКОФВ250LB4 110 кВт – режим опрокидывания при работе на упор и отключение при срабатывании защиты)

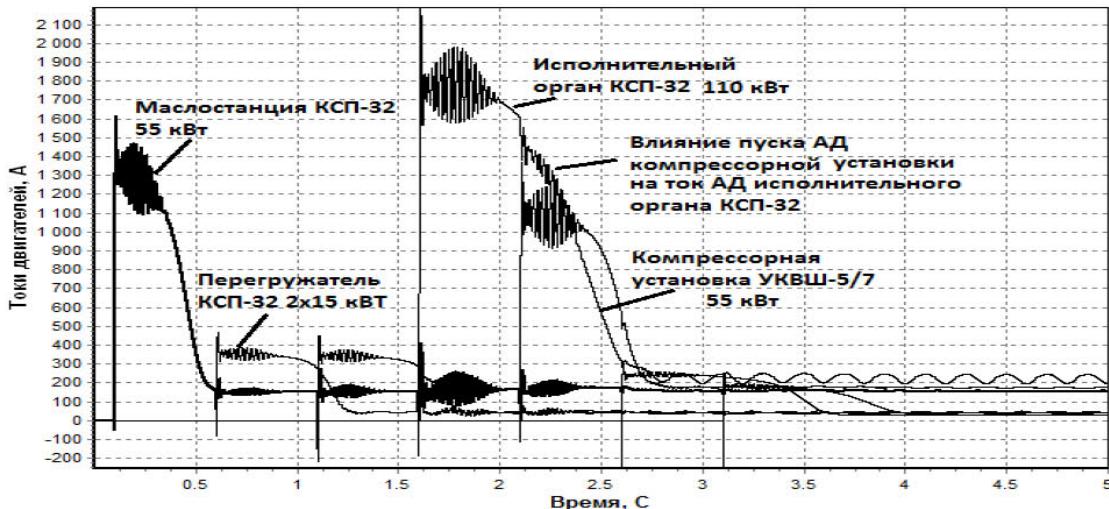
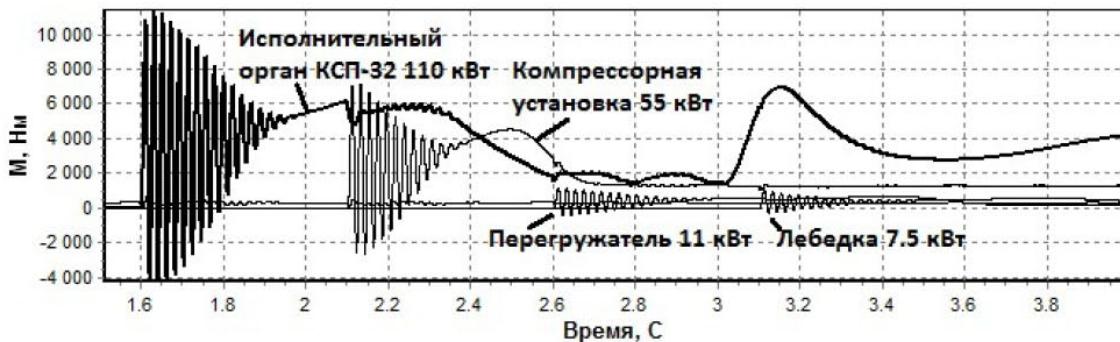


Рис. 5 Изменение амплитудных значений токов АД и взаимовлияние пусков электродвигателей



ей

Рис. 5 Изменения электромагнитных моментов АД при пусках и их взаимовлияние

(0.3 с) потерю напряжения до 24% от исходного значения (690) и уменьшение этой величины до 8.5% по завершении пусков всех двигателей.

При возникновении непреодолимого препятствия на исполнительном органе комбайна КСП-32 и последующем возникновении режима работы на упор при опрокидывании АД величина потери

напряжения составит 14.5-15% (см. рис.3).

Таким образом, выполнение дополнительных расчетов для оценки динамического состояния конкретной системы электроснабжения на основе программной реализации идеологии [10] дает возможность получить ответы на вопросы, сформулированные в [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плацанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий / -М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2006. – 499 с.
2. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах / -Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2003. -283 с.
3. Переходные процессы в системах электроснабжения / Г.Г.Пивняк, В.Н.Винославский, А.Я.Рыбалко, Л.И.Нессен // -М.: Энергоатомиздат; Днепропетровск: Национальный горный университет, 2003. – 548 с.
4. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ./ М.: Изд-во стандартов, 1994. – 66 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования /Под ред. Б.Н.Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.-152 с.

6. ELECTRICAL PLAN REVIEW. Bulletin EPR-1, November 2002. 45 p.
7. Старикин Б.Я., Азарх В.Л., Рабинович З.М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов / М., Недра, 1981. – 288 с.
8. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
9. F. Corcoles, J. Pedra, M. Salichs, L. Sainz, "Analysis of the induction machine parameter identification" IEEE Trans. Energy Conversion, Vol 17, No 2, June 2002, pp. 183-190.
10. Ещин Е.К. Модель асинхронного электродвигателя в системе электроснабжения // Электротехника. – 2002. -№1. С.40-43.
11. В.Т.Антипов. Комбайн проходческий КСП-32. Руководство по эксплуатации / Ясиноватский машиностроительный завод, 1999. – 120 с.

□ Автор статьи:

Ещин

Евгений Константинович,
докт. техн. наук, профессор
каф. прикладных информа-
ционных технологий КузГТУ.
Email: eke@kuzstu.ru

УДК 621.311:621.314

Ф.С. Непша, А.А. Шевченко, В.В. Дабаров

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЙ УСТРОЙСТВ ВСТРЕЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ФИЛИАЛА ОАО «МРСК СИБИРИ» – «КУЗБАССЭНЕРГО – РЭС»

Режимы электрических систем, содержащих замкнутые электрические сети различных номинальных напряжений¹, не являются достаточно экономичными из-за проявления электрической неоднородности [1], т.е. отношение (1) для всех ветвей схемы не выполняется.

$$\frac{R}{X} = \text{const} \quad (1)$$

Для улучшения качества напряжения и повышения экономичности работы электрической сети необходимо выбирать оптимальные значения коэффициентов трансформации, которые в общем случае могут быть комплексными.

Как известно, основными средствами регулирования напряжения путем изменения коэффициентов трансформации являются силовые трансформаторы, снабженные РПН – устройством переключения регулировочных ответвлений под нагрузкой. Данное устройство, встроенное в трансформатор, дает наиболее экономичное решение. При этом коэффициент трансформации представляет собой вещественное число.

Блок оптимизации комплексных

коэффициентов трансформации является одной из частных задач комплексной оптимизации установившихся режимов электрических систем. Его реализация производится с учетом решения, полученного на верхних уровнях алгоритма оптимизации режима. Полученные значения коэффициентов трансформации могут быть положены в основу дальнейших расчетов послеоптимизационных режимов.

При решении задачи оптимизации положений устройств встречного регулирования напряжения трансформаторов минимизируемой функцией, в общем случае, являются суммарные по системе потери активной мощности [2].

Математическая формулировка при этом состоит в определении минимума функции суммарных потерь активной мощности сети:

$$F = \Delta P_{\sum}(K_T) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где K_T – коэффициент трансформации регулируемых трансформаторов; ΔP_{\sum} – суммарные потери активной мощности сети.

При этом данная задача решается в условиях ограничений по уровням напряжений в узлах сети и по диапазонам регулирования трансформаторов:

$$\Delta U_{i \min} \leq U_i \leq \Delta U_{i \max}, \quad (3)$$

$$K_{T \ min} \leq K_T \leq K_{T \ max}, \quad (4)$$

где U – вектор напряжений в узлах сети.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг. (соглашение № 14.B37.21.2073