

# Компенсация емкостной реактивной мощности посредством дросселей

Мирослав Лукевски

Проблема компенсации реактивной емкостной мощности чаще всего возникает на предприятиях, где существуют разветвленные кабельные сети. Оснащая заводские подстанции дросселями или блоками компенсирующих дросселей, можно ограничить затраты, связанные с отдачей реактивной энергии в систему электроснабжения. В статье представлены технические параметры дросселей типа ED3K, предназначенных для компенсации емкостной реактивной мощности.

## 1. Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности является необходимой с точки зрения энергосбережения. Передача индуктивной реактивной энергии от генератора, через распределительную сеть, трансформаторы, промежуточное оборудование, до приемников на стороне низкого напряжения является крайне негативным явлением, так как вызывает дополнительные потери активной мощности. Таким образом, потребляемая реактивная мощность является причиной дополнительной нагрузки генераторов и всех элементов системы электроснабжения. Увеличение количества выделяемого тепла (активных потерь) вынуждает увеличивать предельно допустимые параметры элементов системы.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \quad (1)$$

где:  $\Delta P$  – потери активной мощности;  $P$ ,  $Q$  – активная и реактивная мощности, передаваемые по ЛЭП и кабельным линиям;  $U$  – номинальное напряжение;  $R$  – электрическое сопротивление [2]

Количество потерь активной мощности, возникающей в элементах системы в результате передачи единицы реактивной мощности, представляет собой энергетический эквивалент реактивной мощности  $k_E$  [кВт/кВАр]. Значение коэффициента в ситуации, когда реактивная мощность передается приемнику, установленному на периферии сети низкого напряжения, может составлять  $k_E = 0,25$  [2]. В промышленных предприятиях с типовым профилем используемых электрических машин и оборудования, установленная емкостная реактивная

мощность является меньшей, чем индуктивная реактивная мощность. Основными приемниками реактивной мощности являются трансформаторы и асинхронные двигатели, использующие индуктивную реактивную мощность для создания электромагнитного поля, являющегося необходимым условием их работы. На таких предприятиях может возникнуть необходимость компенсации индуктивной реактивной мощности. Чаще всего это осуществляется путем использования батарей статических конденсаторов.

Предприятия с разветвленными кабельными сетями, при одновременном недостатке индуктивной нагрузки, несут дополнительные расходы, связанные с излишней компенсацией сети. Это значит, что емкостной реактивной мощности, источником которой являются приемники емкостного характера (кабельные линии), в сети предприятия больше, чем индуктивной реактивной мощности. В результате предприятие будет отдавать в энергосистему емкостную реактивную энергию.

$$Q_{POJ} = \sum Q_{KAB} - \sum Q_{IND} \quad (2)$$

где:  $Q_{POJ}$  – реактивная мощность, отдаваемая в систему;  $Q_{KAB}$  – реактивная мощность, вырабатываемая кабельной линией;  $Q_{IND}$  – реактивная мощность, вырабатываемая приемником индуктивного характера.

После превышения заданного предприятием энергоснабжения коэффициента  $tg\phi$  будет начислена оплата, согласно показаниям счетчика реактивной энергии и настройкам счетчика-тарификатора.

Реактивную мощность  $Q_{KAB}$ , вырабатываемую отдельными кабельными линиями на предприятии, можно определить, используя следующие формулы.

$$Q_K = C_K \cdot U^2 \cdot 2 \cdot p \cdot f \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

$$Q_{KAB} = \sum Q_K \cdot l_K \quad (4)$$

где:  $C_K$  – удельная емкость кабеля [ $\mu F/km$ ];  $U$  – напряжение сети;  $f$  – частота сетевого напряжения;  $l_K$  – длина кабельной линии

Теоретический подбор мощности блока дросселей, опирающийся на оценку длины, а также каталожные данные о кабелях, может приводить к значительным ошибкам. В такой ситуации следует использовать данные, регистрируемые предприятием энергоснабжения. Таким образом, можно проанализировать показания счетчиков реактивной энергии за период времени в несколько месяцев. На основании зарегистрированного потока реактивной энергии можно определить реактивную мощность, необходимую для оптимальной компенсации, а также принять решение на счет типа используемого компенсирующего оборудования. Альтернативой дросселя или батареи дросселей с постоянной реактивной

мощностью [3] является многоступенчатый следящий дроссельный блок, управляемый регулятором реактивной мощности [5].

## 2. Компенсирующие дроссели

Результатом анализа показателей счетчиков реактивной энергии в силовых цепях является реактивная мощность  $Q_L$ , которую должен генерировать дроссельный блок. Зная значение реактивной мощности (например, 100 кВАр), можем приступить к определению параметров дросселя, или нескольких дросселей, если требуемая мощность слишком большая.

Обмотки дросселей типа **ED3K** соединены «звездой». Фазовое напряжение  $U_f$  на катушке дросселя составляет 230В. Реактивное индуктивное сопротивление и индуктивность одной катушки дросселя определяем, используя следующие формулы:

$$X_L = \frac{U_f^2}{1/3 \cdot Q_L} = 1,6\Omega \quad (5)$$

$$L = \frac{U_f^2}{1/3 \cdot Q_L \cdot \omega} = 5,1mH \quad (6)$$

Выполняя расчет тока в цепи, можно пренебречь активным сопротивлением дросселя, незначительным по сравнению с реактивным сопротивлением:

$$I = \sqrt{\frac{Q_L}{3 \cdot X_L}} = 144,3A \quad (7)$$

В таблице 1. представлены технические параметры ряда трехфазовых компенсирующих дросселей, работающих при номинальном напряжении 400В.

Таблица 1. Технические параметры компенсирующих дросселей низкого напряжения, типа ED3K [4]

тип дросселя	$L_n$	$I_n$	$Q_n$	$\Delta P$	$L$	$B$	$H$	$d$	$e$	$f$	$Q$
	[мГн]	[А]	[кВАр]	[Вт]	[мм]	[мм]	[мм]	[мм]	[мм]	[мм]	[кг]
ED3K – 2,5 / 400	203,7	3,6	2,5	95	240	190	210	190	95	11x15	14
ED3K – 3,75 / 400	136,0	5,4	3,75	120	265	200	230	215	100	11x15	18
ED3K – 5 / 400	101,9	7,2	5	140	300	210	270	240	120	11x15	26
ED3K – 7,5 / 400	67,9	10,8	7,5	200	360	220	310	310	125	11x15	42
ED3K – 10 / 400	50,9	14,4	10	220	360	230	310	310	125	11x15	46
EDK3 – 15 / 400	34,0	21,7	15	310	420	260	360	370	151	11x15	75
ED3K – 20 / 400	25,5	28,9	20	425	480	320	410	430	183	13x18	108
ED3K – 25 / 400	20,4	36,1	25	545	540	340	480	490	200	13x18	125

ED3K – 30 / 400	17,0	43,3	30	550	540	360	480	490	220	13x18	132
ED3K – 40 / 400	12,7	57,7	40	575	540	390	480	490	250	13x18	207
ED3K – 50 / 400	10,2	72,2	50	865	690	420	550	590	190	17x25	220
ED3K – 60 / 400	8,5	86,6	60	870	690	440	550	590	200	17x25	240
ED3K – 80 / 400	6,4	115,5	80	132 5	870	460	800	560	230	17x25	425
ED3K – 100 / 400	5,1	144,3	100	133 0	870	460	800	560	230	17x25	445
ED3K – 120 / 400	4,2	173,2	120	143 0	870	480	800	560	240	17x25	515

Правильный подбор элементов компенсирующей цепи (кабель, разъединитель либо соединитель и предохранения) требует выполнения точных расчетов токов короткого замыкания. При подборе соединителя следует обратить внимание, чтобы он был предназначен для подключения нагрузок с большой индуктивностью, генерирующих существенные перенапряжения во время операций отключения – соответствующая категория эксплуатации, напр., AC23 [1].

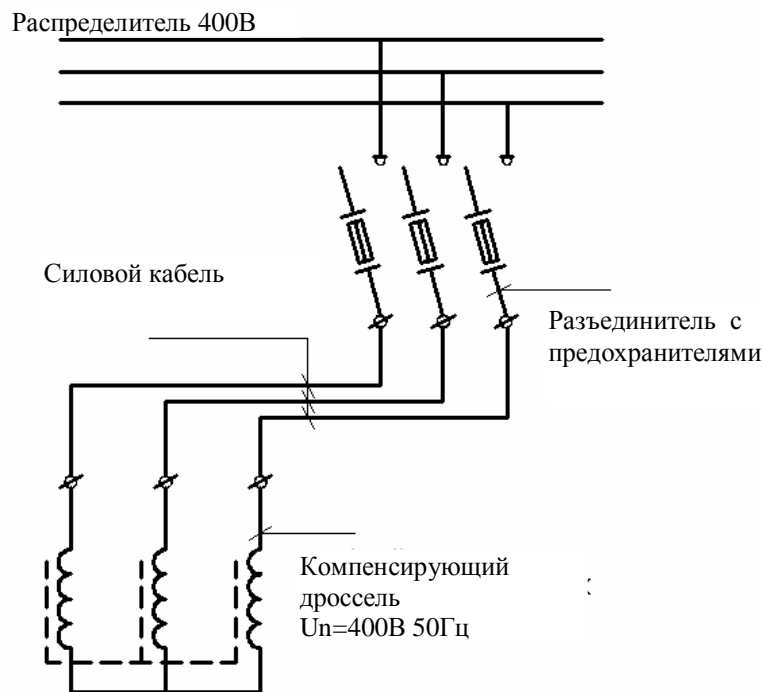


Рис.1 Схема цепи компенсации реактивной емкостной мощности

Компенсирующие дроссели подсоединяются параллельно к шинам питания, на которых необходимо компенсировать реактивную емкостную мощность. К обмоткам дросселя приложено полное сетевое напряжение. Изменения значения напряжения на шинах распределителя и уровень содержания высших гармоник напряжений являются важными параметрами сети, которые имеют решающее влияние на правильную работу компенсационных дросселей.

Индукция, при которой работает сердечник дросселя, определяет так называемую точку гистерезиса намагничивания сердечника. Превышение номинальных значений напряжений сети в месте установки дросселей, вызывает увеличение значения магнитной индукции, при которой работает сердечник, смещая рабочую точку магнитной системы дросселя в направлении насыщения. В критическом случае такая ситуация приведет к значительному увеличению токов в компенсационной ветви, а также к дополнительным потерям в самом сердечнике, что обязательно станет причиной термического повреждения дросселя. С целью предотвращения такого механизма повреждения, прежде всего, разрабатываются компенсационные дроссели с индукцией в сердечнике, подобранной таким образом, чтобы обеспечить устойчивость по отношению к периодическим колебаниям напряжения сети.

Дополнительной защитой от возникновения чрезмерных потерь является использование биметаллического теплового реле, размещенного в обмотке дросселя. Реле подбирается по температурному классу изоляционных материалов, используемых для производства дросселя. Биметаллический контакт можно включить последовательно в цепи питания катушки контактора, обеспечивая простую термическую защиту. Такая защита отключит компенсационный дроссель от шин распределителя, когда температура обмотки превысит допустимое значение. Контакт биметаллического теплового реле можно также включить в цепи сигнализации. Это даст возможность персоналу, обслуживающему распределительное устройство устранить причины, вызывающие неблагоприятные условия работы дросселей. Компенсационные дроссели типа **ED3K** оборудованы биметаллическими тепловыми реле.

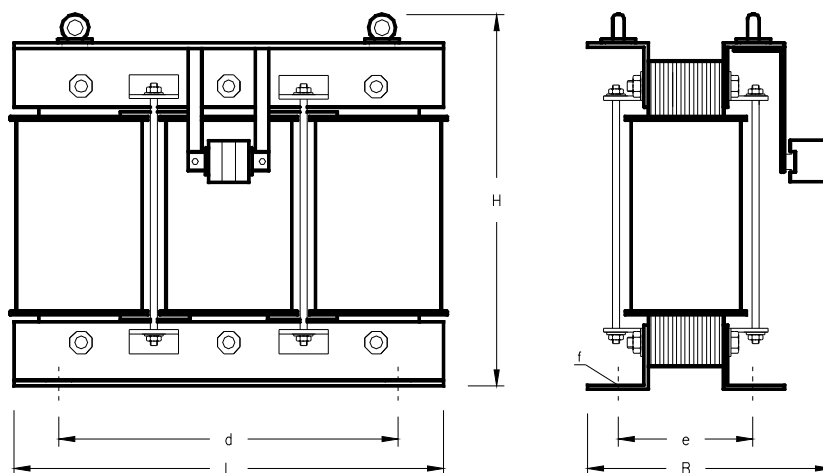


Рис.2 Эскиз компенсационного дросселя типа **ED3K**

Сердечник дросселя состоит из пакетных анизотропных трансформаторных листов **M111-35N** или **M097-30N**. Колонна сердечника разделена на несколько сегментов воздушными зазорами. Это обеспечивает в меру равномерное распределение

индукции по всей высоте колонны и снижает дополнительные потери, возникающие в обмотке в окрестностях зазоров. Обмотка дросселей типа ED3K изготавливается из круглой или профильной медной проволоки, поскольку медь имеет очень хорошие электрические и механические свойства.

Производителем дросселей типа ED3K является ELHAND TRANSFORMATORY. Подробную информацию на тему производимого оборудования предоставляет технический отдел фирмы. Заказы и технические вопросы можно направлять в отдел обслуживания клиентов, используя бланки, помещенные на сайте [www.elhand.pl](http://www.elhand.pl), или по телефону. После согласования технических параметров, возможно изготовление компенсационных дросселей с произвольным значением мощности, а также для других сетевых напряжений, и помещения их в корпусе любой степени защиты.

### 3. Литература

- [1] Maksymiuk J. *Aparaty elektryczne*. WNT, W-wa 1992
- [2] Horak J. *Sieci elektryczne – Elementy sieci rozdzielczych*. WPCz, Cz-wa 1992
- [3] Łukiewski M. *Dławiki kompensacyjne* – Napędy i Strowanie Nr 06/2001, s. 44-45
- [4] Projekty techniczne dławików ED3K – Elhand Transformatory
- [5] Kompensacja mocy biernej, katalog 2001 – Olmex