

# Расчет защитных дросселей для батарей статических конденсаторов

Мирослав Лукевски<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> ELHAND TRANSFORMATORY; E-Mail : [m.lukiewski@elhand.com.pl](mailto:m.lukiewski@elhand.com.pl)

Высшие гармоники тока и напряжения в сети электроснабжения вызванные потребителями с нелинейной нагрузкой составляют серьезную техническую проблему. Емкостные компенсационные батареи, устанавливаемые еще в прошлом веке, не были защищены дросселями подавляющими высшие гармоники. Это вызывает предсказуемые эксплуатационные проблемы, которые чаще всего заканчиваются повреждением батареи. Дроссели типа ED3F защищают емкостные батареи от перегрузки токами высших гармоник. В статье приведен способ расчета параметров защитных дросселей для батарей статических конденсаторов.



Рис.1 Схема одной ступени компенсационной батареи с подавляющими дросселями.

Выбор оптимальной резонансной частоты системы, например  $f_r=189\text{Гц}$ , и известная частота ( $f_n=50\text{Гц}$ ) сети электроснабжения, к которой будет подключена батарея, позволяют

определить коэффициент подавления  $p\%$  (1), который будет использован нами в упрощенных расчетах.

$$p\% = \left( \frac{f_N}{f_R} \right)^2 \cdot 100\% = 7\% \quad (1)$$

Таб.1 Примеры резонансной частоты системы батарея-дроссель

Коэффициент подавления – $p\%$	5%	5,67%	7%	12,5%	14%
Резонансная частота – $f_R$	~224 Гц	~210 Гц	~189 Гц	~141 Гц	~134 Гц

Каждая ступень компенсационной батареи должна быть защищена дросселем с индуктивностью, определенной для емкости соответствующей ступени батареи и установленной резонансной частоты системы. Затем следует определить мощность  $Q_{CN}$  и номинальное напряжение  $U_{CN}$  конденсаторов, составляющих отдельные ступени компенсационной батареи. Это позволит рассчитать ток  $I_S$  и индуктивность  $L_N$  защитных дросселей.

Для примера произведем расчет параметров системы батарея-дроссель, в которой используется стандартная батарея конденсаторов 25кВАр/440В, 50Гц. Используя формулу, определения мощности конденсатора можем определить емкость ступени компенсационной батареи (2).

$$C_{\Delta} = \frac{Q_{CN}}{2 \cdot p \cdot f_N \cdot U_{CN}^2} = 411 \text{ мФ} \Rightarrow C_N = 3 \times 137 \text{ мФ} \quad (2)$$

Определяем емкостное реактивное сопротивление  $X_C$ , индуктивное  $X_L$ , и полное реактивное сопротивление системы батарея-дроссель  $X_{BAT}$  (3,4,5), предполагая, что резонансная частота системы должна составлять ~189Гц ( $p=7\%$ ).

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_N \cdot C_{\Delta}} = 7,75 \Omega \quad (3)$$

$$X_L = X_C \cdot p = 0,54 \Omega \quad (4)$$

$$X_{BAT} = X_C - X_L = 7,21 \Omega \quad (5)$$

Используя (4) определяем индуктивность фазы дросселя  $L_N$ , а также ток  $I_S$  системы батарея-дроссель (6,7).

$$L_N = \frac{X_L}{2 \cdot p \cdot f_N} = 1,72 \text{ мГн} \quad (6)$$

$$I_S = \frac{U_S}{\sqrt{3} \cdot X_{BAT}} = 32 \text{ А} \quad (7)$$

Следует отметить, что действующее напряжение  $U_{CR}$  на зажимах батареи достигнет значения (8).

$$U_{CR} = \frac{U_S}{1 - p} = 430 \text{ В} \quad (8)$$

Отсюда можно определить действительную реактивную мощность  $Q_{CR}$  емкостной батареи 25кВАр/440В 50Гц, реактивную мощность защитного дросселя  $Q_L$  и суммарную реактивную мощность ступени батареи  $Q_{BAT}$  (9,10,11).

$$Q_{CR} = 2 \cdot p \cdot f_N \cdot C_{\Delta} \cdot U_{CR}^2 = 23,86k \text{ var} \quad (9)$$

$$Q_L = 3 \cdot 2 \cdot p \cdot f_N \cdot L_N \cdot I_S^2 = 1,66k \text{ var} \quad (10)$$

$$Q_{BAT} = Q_{CR} - Q_L = 22,2k \text{ var} \quad (11)$$

От дросселей ED3F требуется корректная работа в условиях переменной нагрузки. Уровень токов высших гармоник циркулирующих через батарею и дроссель изменяется в зависимости от конфигурации сети предприятия и количества работающих преобразователей частоты или других нелинейных приемников. Для определения способности дросселя пропускать через себя токи перегрузки вводится параметр, называемый магнитной линейностью. Это максимальный ток дросселя  $I_{LIN}$ , при котором индуктивность его не должна снижаться ниже чем  $0,95L_N$ . Магнитная линейность, это мера стабильности индуктивности дросселя при перегрузках по току.

Уровень высших гармоник в сети в точке подключения емкостной батареи может в значительной степени зависеть от нелинейных приемников, работающих на соседних предприятиях, получающих электроснабжение от того же источника. Следует обратить внимание на то, что искажения синусоиды напряжения и тока, характеризующиеся коэффициентами THDU и THDI, соответственно, может существенно меняться в течение нескольких месяцев, по мере подключения, например преобразователей частоты на соседних предприятиях. Для исключения в будущем эксплуатационных проблем, устанавливаемые сегодня компенсационные системы обязательно должны быть оборудованы защитными дросселями.

## Литература

[1] Stefan Fassbinder – „Jakość zasilania – poradnik 3.3.1 Harmoniczne, Filtry bierne” – PCPM S.A. 2003r

[2] Hanzelka Z., Klempka R. - „Pasywne filtry wyższych harmoniczných” NiS nr9,10 2000r.

[3] PN-IEC 60289:1997 - Dławiki

[4] PN-IEC 60938-2:1994 - Dławiki przeciwzakłóceniovе

[5] PN-EN 61558-2-20:2003 Bezpieczeństwo transformatorów mocy jednostek zasilających i podobnych.

Szczegółowe wymagania dotyczące małych dławików.