

# Фильтрокомпенсирующие цепи статических компенсаторов

ОЛЬШВАНГ М. В., канд. техн. наук, РЫЧКОВ Е. В., канд. техн. наук, АНАНИАШВИЛИ К. Е., инж.  
ЧУПРИКОВ В. С., канд. техн. наук

В условиях роста доли нелинейных нагрузок важными элементами энергосистем и сетей электроснабжения становятся фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ) статических компенсаторов, выполняющие функции компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармонических тока нагрузки.

Многообразие известных схем ФКЦ, нашедших применение в энергосистемах в разных странах, требует их сопоставления, которое проводится по конфигурациям схем и их характеристикам. Рассматриваются также основные расчетные параметры — добротность, потери, время затухания. Эти важные параметры ФКЦ до настоя-



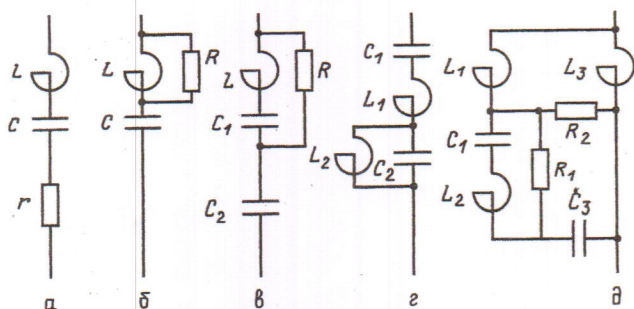


Рис. 1. Основные схемы фильтров статических компенсаторов: а — одночастотный узкополосный фильтр; б — широкополосный фильтр; в — одночастотный фильтр с эквипотенциальным демпфированием; г — двухчастотный фильтр; д — многочастотный фильтр

щего времени недостаточно отражены в публикациях.

Излагается новая методика определения частотных характеристик ФКЦ по вторичным цепям трансформаторов тока, облегчающая экспериментальные исследования, определение параметров и настройку ФКЦ.

**Схемы и характеристики ФКЦ.** В качестве ФКЦ в современной электроэнергетике широкое применение нашли одночастотные LC-фильтры [1—5]. Фильтры подключаются параллельно нагрузке группами и настраиваются обычно на фиксированные частоты наиболее значительных гармоник тока как в нелинейной нагрузке, так и в регулируемых устройствах статической компенсации.

Простейший фильтр состоит из конденсаторной батареи  $C$  и реактора  $L$  (рис. 1, а) и является узкополосным вследствие малых активных потерь в образующих его элементах. Эквивалентное сопротивление потерь  $r$  показано на схеме пунктиром.

Для расширения полосы фильтрации в некоторых случаях фильтровый реактор шунтируется демпфирующим резистором  $R$  (рис. 1, б). Такой широкополосный фильтр обычно настраивается на верхнюю частоту ряда фильтруемых в группе частот. При этом зона фильтрации охватывает весь высокочастотный диапазон.

Между частотами настройки узкополосных фильтров расположены зоны промежуточных частот с резонансными пиками. Резонансы на промежуточных частотах могут приводить к перегрузке фильтров и появлению в сети значительных гармоник промежуточных частот. С целью ослабления таких эффектов в отдельные одночастотные фильтры вводят резисторы, однако положительный эффект уменьшения резонансных пиков сопровождается увеличением потерь в этих фильтрах. Поэтому в ФКЦ 2—5 гармоник эти резисторы стараются включать между эквипотенциальными на частоте сети точками: между от-

водом промежуточной точки батареи и внешним выводом реактора (рис. 1, в) [5].

Находят применение и двухчастотные фильтры [6], показанные на рис. 1, г. Их характеристики подробно рассмотрены в монографии [3].

Многочастотные фильтры (рис. 1, д) применяются для фильтрации гармоник, создаваемых синхροфазотроном, система электроснабжения которого подключена к объединенной энергосистеме Франции [7].

Недостатками двухчастотных и более сложных фильтров является «разнокалиберность» оборудования ФКЦ (различные уровни изоляции, значения токов конденсаторов и реакторов), сложность настройки и ее чувствительность к отклонениям параметров отдельных элементов. Поэтому наиболее часто применяются одночастотные фильтры, показанные на рис. 1, а, б, в.

Ряды ФКЦ, разработанные отечественной электропромышленностью на напряжения 6, 10 и 35 кВ и мощность от 2 до 24 Мвар в составе статических тиристорных компенсаторов [1], набираются из одночастотных фильтров. В частности, в СТК 160/138-35 кВ, состоящем из тири-

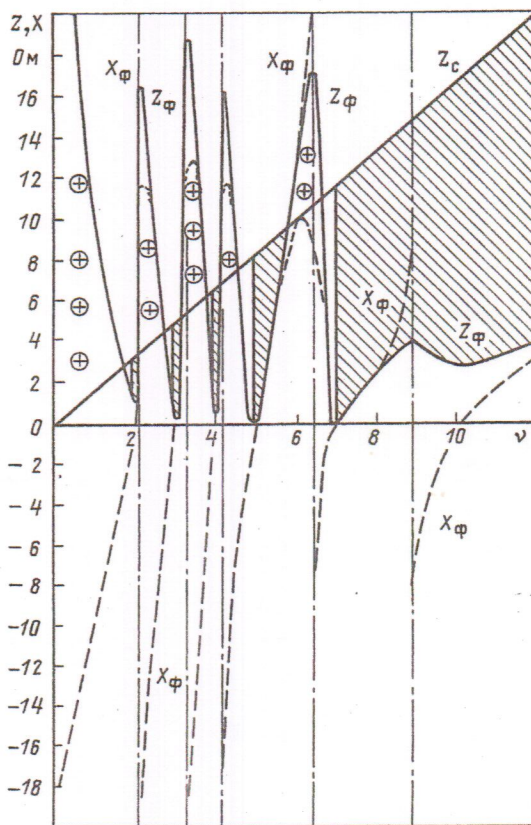


Рис. 2. Частотные характеристики группы фильтров СТК 160/138-35 и сопротивления системы. Область фильтрации заштрихована. Знаком «плюс» выделены пики резонансного эффекта фильтров. Частота настройки фильтра 2-й гармоники равна 95 Гц



сторно-реакторной группы на 160 МВ·А и ФКЦ суммарной мощностью 138 Мвар, входит группа фильтров по схеме на рис. 1, а (ФКЦ 4, 5 и 7 гармоник), по схеме на рис. 1, б (широкополосный фильтр с настройкой на частоту гармоники  $\nu = 9,6$ ) и по схеме на рис. 1, в (ФКЦ 2 и 3 гармоник).

Частотные характеристики эквивалентного сопротивления  $Z_{\phi}$  такой группы ФКЦ ( $X_{\phi}$  — мнимая часть этого сопротивления) и сопротивления системы  $Z_c$  приведены на рис. 2.

На частотах настройки ФКЦ обладают фильтрующим эффектом, поскольку мнимая часть эквивалентного сопротивления группы фильтров на этих частотах равна нулю (рис. 2). На промежуточных частотах расположены полюсы частотной характеристики, что соответствует эффекту параллельного резонанса, создаваемого смежными фильтрами. В области частот  $\nu = 2-6$  наблюдаются соответствующие резонансные пики, превышающие уровень частотной характеристики системы. Это означает, что на данных частотах вместо фильтрации происходит усиление гармоник тока нелинейной нагрузки. В результате увеличиваются гармоники тока, ответвляющиеся в систему, и нагрузка ФКЦ.

Частота первого резонанса, лежащего слева от 2-й гармоники, находится настолько близко к ней, что при возможном уходе частоты сети или частоты настройки ФКЦ за счет изменения емкости конденсаторов вместо ослабления тока 2-й гармоники будет происходить его усиление. Поэтому частоту настройки ФКЦ 2-й гармоники целесообразно сместить влево, приняв  $\nu = 1,9$ , т. е. частота настройки фильтра должна быть не 100, а 95 Гц.

Как сказано выше, для уменьшения резонансных пиков используется схема фильтра на рис. 1, в, в которой демпфирующий резистор включается так, что он шунтирует реактор и часть конденсаторной батареи  $C_1$ . Согласно [5] величина  $C_1$  выбирается из условия эквипотенциальности токов включения на частоте сети, т. е.

$$\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C_1} = 0 \text{ или } \frac{1}{\sqrt{LC_1}} = \omega_1, \quad (1)$$

где  $\omega_1$  — частота сети.

При данном условии напряжение, приложенное к сопротивлению  $R$  на частоте сети, равно нулю и потерь в нем на этой частоте нет. На других частотах условие (1) не выполняется, чем и объясняется демпфирующий эффект сопротивления  $R$  на частотах параллельного резонанса. Следствием этого эффекта является снижение резонансных пиков, показанное пунктирной кривой на рис. 2.

**Основные параметры ФКЦ.** Исходными параметрами ФКЦ являются относительная частота настройки  $\nu$  и суммарная реактивная мощность

$Q_r$ , генерируемая на частоте сети всеми ФКЦ.

Частоты настройки выбираются соответственно частотам наиболее значительных гармоник тока  $I_{\nu}$  компенсируемых нелинейных нагрузок. Величины  $Q_r$ , по нашему мнению, должны распределяться между отдельными фильтрами пропорционально токам  $I_{\nu}$ . Тем самым выдерживается относительная величина тока гармоник  $I_{\nu*} = I_{\nu}/I_1$  на одном уровне для всех конденсаторов, что обеспечивает наилучшее их использование.

Для каждой ФКЦ параметры  $Q_r$  и  $\nu$  однозначно определяют емкость и индуктивность фильтра:

$$C = \frac{Q_r}{\omega_1 U_n^2 V}, \quad (2)$$

где  $U_n$  — действующее значение линейного напряжения сети;

$$V = \frac{\nu^2}{(\nu^2 - 1)}; \quad (3)$$

$\nu = \frac{\omega_0}{\omega_1}$  — относительная частота настройки;  $V$  — кратность повышения напряжения конденсаторной батареи на частоте сети;

$$L = \frac{1}{C \omega_1^2 \nu^2}. \quad (4)$$

Рабочее напряжение конденсаторной батареи зависит от частоты настройки  $\nu$ , параметра  $V$  и относительной величины тока гармоники  $I_{\nu*}$ . Эту зависимость целесообразно представить в виде:

$$U_k = U_n \sqrt{(k_1 V)^2 + \left(\frac{k_2 I_{\nu*}}{\nu}\right)^2} \quad (5)$$

Здесь коэффициент  $k_1$  учитывает возможное повышение фазного напряжения сети относительно номинальной величины  $U_n$ ;  $k_2$  — коэффициент, учитывающий параллельный резонанс и экстремальные режимы потребителей и зависящий от состава и параметров ФКЦ, а также от частотной характеристики энергосистемы. На практике принимают  $k_2 = 1,5-2,0$ .

Установленная мощность конденсаторной батареи равна

$$Q_y = 3 U_k^2 \omega_1 C, \quad (6)$$

так как согласно (5) величина  $U_k$  заметно превосходит номинальное напряжение  $U_n$ , мощность  $Q_y$  превосходит генерируемую мощность в 1,5—2 раза, а для фильтров 2-й гармоники — в 2,5—3 раза. Степень превышения установленной мощности над генерируемой  $Q_{y*} = Q_y/Q_r$  является важным расчетным показателем ФКЦ, что часто не учитывают.

Как известно, частотная характеристика фильтров в окрестности резонансной частоты определяется характеристическим сопротивлением

$$\rho = \sqrt{L/C} \quad (7)$$



Таблица 1

| $\nu$ | $Q_r$ , Мвар    | $Q_y$ | $V$   | $C$ , мкФ | $L$ , мГн | $\rho$ , Ом | $q$ | $r$ , Ом | $\eta$ | $P_1$ , кВт   |
|-------|-----------------|-------|-------|-----------|-----------|-------------|-----|----------|--------|---------------|
| 2     | 16,4            | 2,63  | 1,33  | 32        | 88        | 52          | 42  | 1,23     | 6,7    | 83            |
| 3     | $19,4 \times 2$ | 2,17  | 1,125 | 45        | 25        | 24          | 49  | 0,49     | 5,2    | $51 \times 2$ |
| 4     | 19,7            | 1,46  | 1,067 | 48        | 14        | 17          | 99  | 0,16     | 7,9    | 43            |
| 5     | $22,5 \times 2$ | 1,49  | 1,042 | 56        | 7,2       | 11          | 62  | 0,18     | 3,9    | $42 \times 2$ |
| 7     | 11,0            | 1,53  | 1,021 | 28        | 7,5       | 16          | 82  | 0,20     | 3,7    | 18            |
| 9,6   | 6,2             | 1,55  | 1,011 | 16        | 6,9       | 21          | 3,6 | 5,74     | 0,12   | 12            |

и добротностью

$$q = \rho / r, \quad (8)$$

где  $r$  — эквивалентное активное сопротивление фильтра на частоте настройки.

Основные параметры ФКЦ СТК 160/138-35 приведены в табл. 1.

Известно, что добротностью фильтра определяется скорость затухания свободных колебаний в переходном процессе. Анализ показал, что постоянная времени огибающей колебаний при условии  $q > 0,5$  равна

$$T = 2q / \omega_0 = \frac{qT_1}{\pi\nu} = \xi T_1, \quad (9)$$

где  $T_1 = 2\pi / \omega_1$  — период частоты сети.

Величина  $\xi = T / T_1$  приведена в табл. 1 в числе основных параметров ФКЦ потому, что она определяет выдержку времени для настройки релейных защит. Так, в частности, из табл. 1 следует, что для исключения влияния свободных колебаний на работу релейных защит ФКЦ в СТК 160/138-35 требуется выдержка времени 10—20 периодов частоты сети, т. е. 0,2—0,4 с.

**Добротность, потери на резонансной частоте и потери на частоте сети.** Как отмечено выше, с целью уменьшения резонансных пиков на промежуточных частотах и улучшения в целом фильтрации группы фильтров в отдельные фильтры вводятся демпфирующие резисторы (рис. 1, б и в). Это приводит к росту потерь и, следовательно, к снижению экономичности ФКЦ. Степень снижения экономичности определяется соотношением эквивалентного сопротивления фильтра на частоте сети  $r_1$  и на резонансной частоте  $r_0$ .

Для схемы на рис. 1, б эквивалентная схема получается заменой параллельного соединения индуктивности и сопротивления на последовательное; при этом эквивалентные параметры цепи становятся частотнозависимыми:

$$r_\omega = \frac{R(\omega L)^2}{R^2 + (\omega L)^2}; \quad (10)$$

$$L_\omega = \frac{LR^2}{R^2 + (\omega L)^2}. \quad (11)$$

Для схемы на рис. 1, в равенство (10) оказывается справедливым при условии замены величины  $R$  на частотнозависимую величину  $R_\omega$ :

$$R_\omega = R \left[ \frac{\left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2}{\left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 - 1} \right]^2. \quad (12)$$

Это равенство справедливо при условии (1) и  $R \gg \omega L$ . Величина  $r_\omega$  для схемы на рис. 1, в равна

$$r_\omega = \frac{R_\omega(\omega L)^2}{R_\omega^2 + (\omega L)^2}.$$

В табл. 2 приведены формулы для определения эквивалентных последовательных сопротивлений на частоте сети и резонансной частоте при переходе от схемы на рис. 1, б и в к схеме на рис. 1, а.

Таблица 2

| Сопротивление | Схема на рис. 1, б                             | Схема на рис. 1, в                                   |
|---------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| $r_1$         | $\frac{R(\omega_1 L)^2}{R^2 + (\omega_1 L)^2}$ | 0                                                    |
| $r_0$         | $\frac{R(\omega_0 L)^2}{R^2 + (\omega_0 L)^2}$ | $\frac{R(\omega_0 L V)^2}{R^2 V^4 + (\omega_0 L)^2}$ |

По этим формулам рассчитаны величины сопротивлений ФКЦ компенсатора СТК 160/138-35, содержащих демпфирующие резисторы (резонансные частоты  $\nu = 2; 3; 9,6$ ).

По определению добротность ФКЦ с учетом резисторов определяется по формуле:

$$q_p = \omega_0 L / r_0. \quad (13)$$

Кроме резисторов, добротность ФКЦ определяют также добротности индуктивных элементов, т. е. фильтровых реакторов (влияние потерь в конденсаторах на добротность ФКЦ пренебрежимо мало), которые рассчитываются по величине потерь  $P_v$  на частоте настройки при заданном токе через реактор  $I_v$ :

$$q_n = I_v^2 \omega_0 L / P_v. \quad (14)$$

Результирующая добротность ФКЦ при этом равна:

$$q = (q_p^{-1} + q_n^{-1})^{-1}. \quad (15)$$



Результирующее сопротивление по схеме на рис. 1, а на резонансной частоте равно

$$r = r_0 + \omega_0 L / q_n = \omega_0 L / q. \quad (16)$$

Результирующие значения добротностей и сопротивлений были приведены в табл. 1.

Потери в фильтрах на частоте сети складываются из потерь в конденсаторных батареях  $P_K$ , реакторах  $P_H$  и резисторах  $P_P$ . Потери в батареях

$$P_K = Q_y \operatorname{tg} \delta U_{K1*}^2, \quad (17)$$

где  $Q_y$  — установленная мощность конденсаторов;  $\operatorname{tg} \delta$  — тангенс угла потерь в конденсаторах;  $U_{K1*} = U_{K1} / U_n$  — относительная величина напряжения на частоте сети.

Потери в реакторах на частоте сети задаются в технических условиях на реакторы.

Потери в резисторах рассчитываются по току частоты сети  $I_1$  или генерируемой мощности  $Q_T$  и сопротивлению  $r_1$ :

$$P_P = (Q_T / U_n)^2 r_1. \quad (18)$$

Значения этих потерь приведены в табл. 1.

Суммарные потери на частоте сети во всех восьми ФКЦ компенсаторов СТК 160/138-35 составляют 344 кВт или 0,25 % мощности, генерируемой ФКЦ. При неиспользовании фильтра 2-й гармоники потери снижаются до 0,21 %.

В резисторе широкополосного фильтра на частоте сети потери составляют 1,8 кВт. В остальных резисторах при выполнении ФКЦ по расчетным соотношениям потери на частоте сети должны равняться нулю, однако, вследствие некоторого разброса параметров  $C_1$  и  $L$  в схеме на рис. 1, в фактические потери составляют 3—5 кВт. Следует отметить, что при использовании схемы рис. 1, б потери на частоте сети в резисторах возрастают до 50 кВт.

**Настройка ФКЦ.** Эффективность работы ФКЦ определяется точностью их настройки на заданную частоту и степенью соответствия фактических параметров расчетным. Поэтому перед вводом в эксплуатацию требуется тщательная настройка и измерение добротности. Как объект электрических измерений ФКЦ имеют ряд особенностей в части габаритов, расположения, доступности элементов схемы и т. д. В качестве примера на рис. 3 дана типовая схема одного из фильтров СТК 160/138-35. Пространственное расположение оборудования ФКЦ делает затруднительной настройку фильтров вследствие необходимости прокладывать длинные провода для сборки измерительной схемы и не дает возможности провести корректные измерения частотной характеристики по обычной схеме. Прямые замеры индуктивностей реакторов и емкостей конденсаторных батарей с последующим расчетом резонансной частоты фильтра не обеспечивают требуемой точности, не технологичны в условиях эксплуатации и не позволяют измерять добротность фильтров.

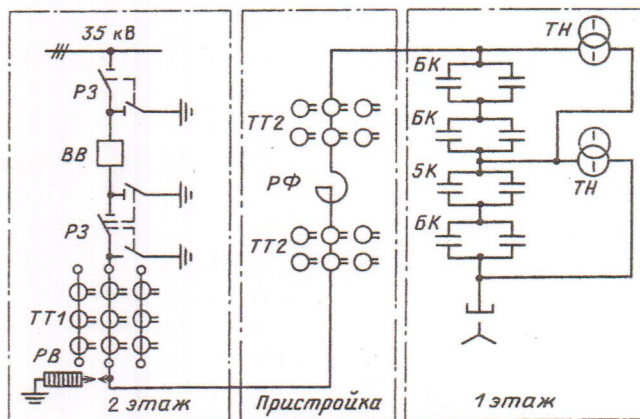


Рис. 3. Схема и размещение фильтрокомпенсирующей цепи 5 гармоники:  $P3$  — разъединитель с заземлителем;  $BB$  — выключатель воздушный;  $TT1$  и  $TT2$  — трансформаторы тока;  $PB$  — разрядник вентильный;  $PF$  — реактор фильтровый 10 000 квар, 35 кВ;  $БК$  — блок конденсаторов 2800 квар, 6,3 кВ;  $ТН$  — трансформатор напряжения

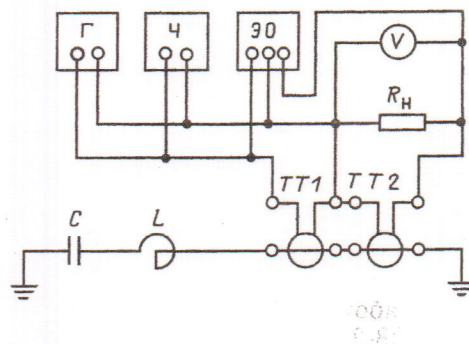


Рис. 4. Схема снятия частотной характеристики ФКЦ по вторичным цепям трансформаторов тока:  $Г$  — генератор звуковой частоты;  $ЭО$  — электронный осциллограф;  $Ч$  — частотомер;  $V$  — вольтметр

Авторами разработана и применена на практике методика точной настройки крупногабаритных ФКЦ с подключением универсальных электронных приборов ко вторичным цепям трансформаторов тока. Вторичные цепи выведены на панели автоматики и релейной защиты СТК. Схема настройки приведена на рис. 4.

Особенностью приведенной схемы является использование в ней двух трансформаторов тока в определенном режиме: через вторичную обмотку  $TT1$  вводится сигнал от генератора звуковой частоты в цепь ФКЦ, а по вторичной обмотке  $TT2$  проверяется реакция фильтра на этот сигнал.

Если включить генератор звуковой частоты непосредственно в «первичную» цепь фильтра, напряжение на его выходе будет существенно изменяться в зависимости от частоты при снятии частотной характеристики, так как сопротивление цепи фильтра в зависимости от степени удаления от резонансной частоты может меняться от десятых долей до десятков Ом. Кроме того,



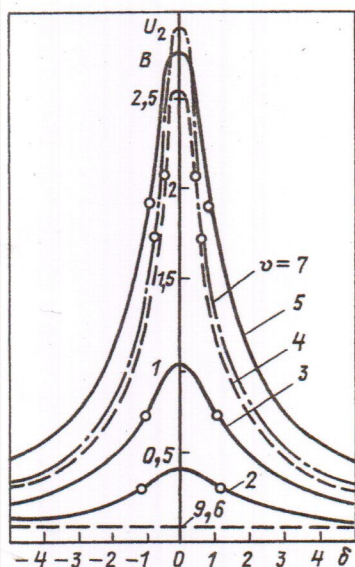


Рис. 5. Частотные характеристики проводимостей фильтрокомпенсирующих цепей СТК 160/138-35

соединительные провода, пересекая содержащие металлическую арматуру перекрытия, создают дополнительную «паразитную» индуктивность порядка 2—4 мГн, что соизмеримо с индуктивностями фильтров 4-й, 5-й, 7-й и 11-й гармоник. Существенные искажения в измерения вносят и активные сопротивления соединительных проводов. Таким образом, правильная оценка добротности фильтра при непосредственных измерениях невозможна.

В предложенной на рис. 4 схеме настройки этих недостатков нет, так как активное сопротивление и индуктивность заземления на результаты измерений практически не влияют. От звукового генератора на вторичную обмотку  $ТТ1$  подается напряжение  $U_r$ . На вторичной обмотке  $ТТ2$  индуцируется выходное напряжение измерительной схемы

$$U_2 = U_r k_{T1} k_{T2} R_n |Y_\phi|, \quad (19)$$

где  $k_{T1}$  и  $k_{T2}$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока;  $R_n$  — нагрузочное сопротивление на выходе схемы;  $Y_\phi$  — полная проводимость фильтра.

Величина  $R_n$  не должна превышать сопротивления намагничивания трансформаторов тока [8]. Величина  $Y_\phi$  определяется параметрами фильтра  $R$ ,  $L$ ,  $C$  и частотой источника сигнала:

$$Y_\phi = \frac{1}{Z_\phi} = \left[ R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right]^{-1}. \quad (20)$$

Таким образом, выходное напряжение схемы (19) обратно пропорционально модулю полного сопротивления, т. е. зависимость выходного напряжения от частоты является в то же время частотной характеристикой проводимости филь-

ра, что позволяет по ее максимуму определять частоту настройки и добротность фильтра.

Как известно, добротность фильтра связана с его полосой пропускания:

$$q = \frac{f_0}{f_{г.п} - f_{г.л}}, \quad (21)$$

где  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  — резонансная частота;  $f_{г.п}$ ,  $f_{г.л}$  — правая и левая границы полосы пропускания фильтра, т. е. частоты, на которых  $Z_\phi = \sqrt{2}R$ .

В окрестности резонансной частоты справедливо приближенное соотношение:

$$Y_\phi = \frac{q}{\rho\sqrt{1 + 4\delta^2 q^2}}, \quad (22)$$

где  $\delta = \frac{\Delta f}{f_0}$  — относительное отклонение частоты от резонансной.

На рис. 5 приведены рассчитанные по (19) и (22) частотные характеристики фильтров СТК 160/138-35 для случая, когда  $k_{T1} = k_{T2} = 1:1000$ ;  $R_n = 5$  кОм;  $U_r = 100$  В. На характеристиках кружками отмечены границы полос пропускания для определения добротности.

Новый способ настройки успешно применен в процессе ввода в эксплуатацию и выполнения регламентных работ на СТК 160/138-35. Высокая точность оценки добротности позволила выявить и заблаговременно устранить скрытые дефекты фильтров: в одном случае были обнаружены неправильно подключенные демпфирующие резисторы, в другом — короткозамкнутые витки в фильтровом реакторе. Таким образом, высокая эффективность методики получила экспериментальное подтверждение.

**Выводы.** 1. При групповом подключении ФКЦ, вследствие чередования областей фильтрации и областей усиления, смещение частоты настройки может привести к усилению тока фильтруемой гармоники и к перегрузке фильтра. Поэтому необходима точная настройка ФКЦ, а для фильтра 2-й гармоники частота настройки должна быть снижена до 95 Гц.

2. В фильтрах 2—5-й гармоник целесообразно подключение демпфирующих резисторов к эквипотенциальным точкам на частоте сети, что позволяет снизить «пики» частотной характеристики группы ФКЦ, не увеличивая потерь на основной частоте.

3. Измерение добротности фильтров с достаточной степенью точности позволяет обнаруживать возможные скрытые дефекты оборудования ФКЦ и прежде всего фильтровых реакторов.

4. Измерение добротности и настройка фильтров по вторичным цепям трансформаторов тока целесообразны своей технологичностью и точностью настройки на заданную частоту.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поссе А. В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока.— М.: Энергия, 1973.
2. Статические тиристорные компенсаторы для энергосистем и сетей электроснабжения / И. М. Бортник, С. Ф. Буряк, М. В. Олышванг, И. П. Таратута — Электричество, 1985, № 2.
3. Kimbark E. W. Direct current transmission.— New York: Wiley—inter—science, 1971.
4. Kuba E., Ichikawa M. Progress in electric power supply to arc furnace load in Japan. 9th UIE Int. Congress, 1980, Ilcfl.
5. Stanley C. H., Posse J. J., Brewer G. L. Design and performance of a c.f. filter for 2-pulse H. V. D. C. schemes.

IEE Conf. Publ., 1977, N 154.

6. Schweickardt H. E., Pfyl W., Romegialli G. Laurentidies the first 735 kV static VAR systems description and first operational results.— Int. Symp. on Controlled Reactive Compensation. Canada, Quebec, 1979.

7. Bayard O., Fox J., Gougenil J. C., Mayryf. Connexion de l'alimentation pulsee de l'acceleateur de 400 Gev DU Cern au Reseau E. D. F.— Revue Generale de Electricite, Marc 1975, t. 84, N 3.

8. Афанасьев В. В., Адоньев Н. М., Жалалис Л. В. Трансформаторы тока.— Л.: Энергия, 1980.

[29.11.88]

Привлечите на себя внимание потенциальных партнеров и клиентов, чтобы получить

технические новшества и новейшие разработки

наименее затратные программы

Регистрационный

www.nd.ru

