

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА и ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ISSN 0234—9124



МЭИ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
И ЭКОНОМИЧНОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сборник научных трудов
№ 163

Москва

1988

Разработанные методы диагностики в совокупности с выбранными из известных позволили определить состав диагностических методов, удовлетворяющих задаче контроля всех конструктивных узлов. Реализация методов диагностики возможна в рамках только функциональной диагностики, что определяет режим диагностирования. Необходимость использования именно функциональной диагностики вызвана не только характером развития дефектов конструктивных узлов, но и высокими требованиями к надежности СН крупных энергоблоков, основным элементом которой являются АД.

Пятый этап предлагаемой логико-функциональной схемы разработки АСТД АД является задачей дальнейших исследований. При ее решении следует учесть, что в составе СН электростанций имеется большое число АД различной мощности и АД объединены в различные функциональные группы (двигатели конденсатных, бустерных, сетевых, питательных насосов, механизмов топливоприготовления, агрегатов тяго-дутьевой группы и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования. Киев: Техника, 1983.
2. Скляр В. Ф., Гуляев В. А. Диагностическое обеспечение энергетического производства. Киев: Техника, 1985.
3. Соколов В. Л. Диагностика электрооборудования СН ЭС/Моск. энерг. ин-т. М., 1986. Деп. в Информэнерго, № 2246-Эн.
4. Заявка 4048781/24-07 от 08.04.86 СССР, МКИ Н02 К11/00. Электрическая машина с блоком контроля внутренних повреждений обмотки/В. Л. Соколов, А. Л. Церазов. Полож. реш. от 21.01.87.

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ПРИ НЕУСПЕШНЫХ АПВ

Канд. техн. наук доц. А. П. ДОЛИН, ст.
инж. М. А. КОЗИНОВА (Моск. энерг.
ин-т)

В [1] и других работах электродинамическая стойкость жесткой ошиновки определялась при нулевых начальных условиях (если до короткого замыкания изоляторы и шины находились в покое). Однако при неуспешных автоматических повторных включениях (АПВ) эти условия для жесткой ошиновки 110 кВ и выше, как правило, не выполняются, а на-

рузки на изоляторы и напряжения в материале шин могут существенно отличаться от расчетных [1].

Процесс колебания шинной конструкции при однократных АПВ состоит из четырех этапов: первое короткое замыкание КЗ1, первая бестоковая пауза БП1, повторное короткое замыкание КЗ2, последующая бестоковая пауза БП2. Продолжительность каждого короткого замыкания $t_{зк1}$ и $t_{зк2}$ соответствует полному времени отключения цепи, которое складывается из времени срабатывания защиты и времени отключения выключателя. Продолжительность бестоковой паузы $t_{бп1}$ определяется временем деионизации среды в месте повреждения, а также готовностью выключателя и его привода к повторному включению. После отключения КЗ наступает режим бестоковой паузы, во время которого имеют место свободные затухающие колебания шины. Если к моменту АПВ колебания не успевают затухнуть до нуля, то включение происходит при некотором значении прогиба шины и угле колебания. Колебания системы шины — изоляторы в режиме КЗ1 — БП — КЗ2 приближенно можно рассматривать как движение системы с одной степенью свободы [1] и с учетом рассеяния энергии описать дифференциальным уравнением второго порядка [2]

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2h \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = \frac{Q}{m}, \quad (1)$$

где m — приведенная масса шинной конструкции, кг; y — прогиб конструкции, м; t — время, с; h — коэффициент рассеяния энергии, s^{-1} ; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота собственных колебаний, рад/с; Q — приведенная сила, равная результирующей электродинамической нагрузке, действующей на пролет шины, Н.

Решение уравнения (1) для каждого этапа КЗ1, БП и КЗ2 имеет вид [2]

$$y = C_i e^{-ht_i} \sin(pt_i + \gamma_i) + (mp)^{-1} \int_0^t e^{-h(t_i-\tau)} \sin p(t_i-\tau) Q_i(\tau) d\tau,$$

где i — номер этапа ($i=1$ соответствует КЗ1, $i=2$ — БП, $i=3$ — КЗ2); $p = \sqrt{\omega^2 - h^2}$ — угловая частота свободных колебаний при наличии рассеяния энергии, рад/с; t_i — время от начала i -го этапа, с; C_i — постоянная, м, γ_i — угол, рад, определяются из начальных условий для каждого этапа режима АПВ [2] следующим образом:

$$C_i = \sqrt{y_{0i}^2 + \frac{(y'_{0i} + hy_{0i})^2}{p^2}}; \quad \text{ctg } \gamma_i = \frac{y'_{0i} + hy_{0i}}{y_{0i} p};$$

y_{0i} и y'_{0i} — начальные условия (при $t_i=0$), равные прогибу, м, и его производной, м/с, на предшествующем этапе ($i-1$) в момент коммутации.

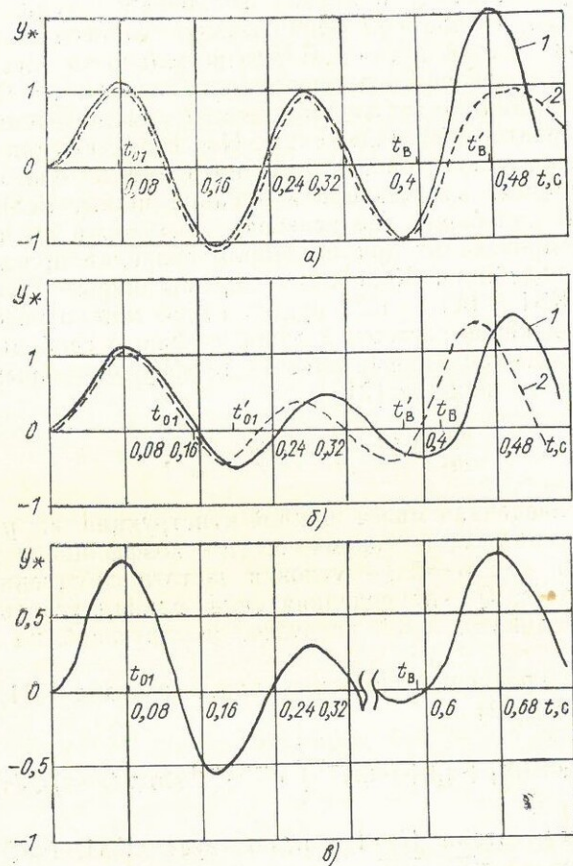


Рис. 1. Осциллограммы относительного прогиба y_* при трехфазных первом и повторном КЗ

Расчет прогибов шинных конструкций при неуспешных АПВ выполнялся на ЭВМ ЕС. В качестве примера на рис. 1

приведены расчетные осциллограммы относительного прогиба y_* при трехфазных первом и повторном КЗ для крайней шины конструкции (частота собственных колебаний $f=5$ Гц, коэффициент затухания $0,5; 5 \text{ с}^{-1}$) при различных

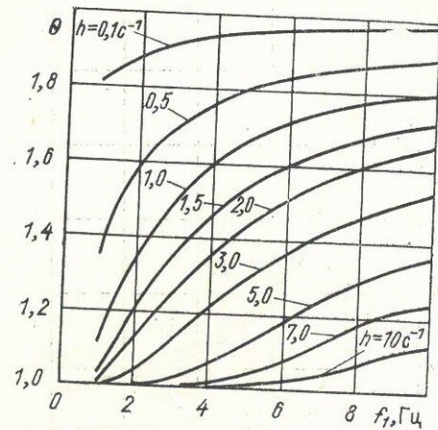


Рис. 2. Зависимость θ_{\max} от частоты собственных колебаний шины f для различных коэффициентов h

временах отключения первого КЗ t_{01} и повторного включения t_B . Кривые на рис. 1 не отражают всех особенностей процесса колебаний ошиновки при неуспешных АПВ, так как построены на основе решения уравнения (1), не учитывающего высших форм собственных колебаний, зависимость параметров затухания от амплитуды колебаний, несинхронность отключения и включения полюсов выключателей. Однако эти допущения, как правило, незначительно влияют на результаты расчета наибольших амплитуд колебаний шинных конструкций при КЗ [1, 3] и поэтому допустимы для инженерных оценок электродинамической стойкости изоляторов и шин.

Анализ полученных результатов показал следующее. Если в момент повторного включения t_B направления действия электродинамической нагрузки и движения шины совпадают, то максимальный прогиб $y_{2 \max}$ шинной конструкции, как правило, больше, чем максимальная амплитуда при первом КЗ $A_{1 \max} = y_{1 \max, \max}$ (рис. 1, а, кривая 1). Когда направления действия силы и движения шины противоположны, прогиб

уменьшится (рис. 1, а, кривая 2). Колебания шинной конструкции при неуспешных АПВ достигают наибольших амплитуд $A_{2\max} = y_{2\max, \max}$, если в бестоковую паузу амплитуды колебаний оказываются наибольшими (см. рис. 1, б). Амплитуды

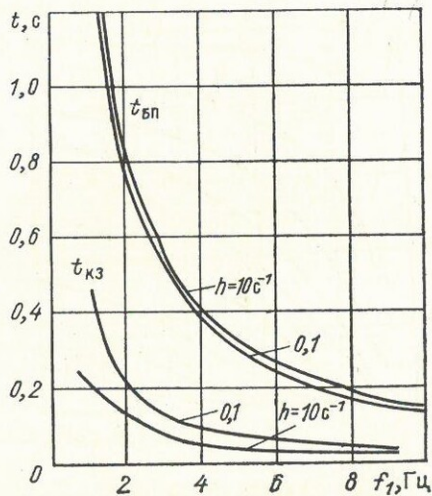


Рис. 3. Продолжительности первого КЗ $t_{кз1}$ и бестоковой паузы $t_{бп}$

ды колебаний на этапе бестоковой паузы определяются начальными условиями и коэффициентом затухания, а наибольший прогиб при повторном включении на КЗ зависит, кроме того, от продолжительности бестоковой паузы, частоты собственных колебаний шинной конструкции, угла включения тока КЗ и других факторов.

Отношения амплитуд колебаний при первом и втором КЗ $\theta = y_{2\max}/y_{1\max}$ остаются в пределах от 0 до 2, а максимальные значения этих отношений $\theta_{\max} = A_{2\max}/A_{1\max}$ — от 1 до 2. На рис. 2 приведены зависимости θ_{\max} от частоты собственных колебаний шины f для различных коэффициентов h . Значения θ_{\max} получены при самых неблагоприятных по условиям электродинамической стойкости продолжительностях первого КЗ $t_{кз1}$ и бестоковой паузы $t_{бп}$ (рис. 3). Кроме того, токи первого и повторного трехфазных КЗ считались одинаковыми.

Наибольшие нагрузки на изоляторы, H , и напряжения в материале шины, Pa , при неуспешных АПВ определяются по формулам

$$R_{\max} = \beta \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} l}{a} i_{уд}^2 \eta \theta_{\max}; \quad \sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} l^2}{\lambda a W} i_{уд}^2 \eta \theta_{\max},$$

где l — длина пролета шины, м; a — расстояние между фазами, м; $i_{уд}$ — ударный ток КЗ, А; λ и β — параметры, зависящие от условий закрепления (опирания) шин на изоляторы пролета [4]; W — момент сопротивления поперечного сечения шины, м³; η — динамический коэффициент (при первом КЗ).

С ростом диссипативных сил и продолжительности бестоковой паузы амплитуды свободных колебаний к моменту повторного включения снижаются и колебания могут практически затухнуть. В этом случае отношения θ_{\max} оказываются равными единице. В инженерных расчетах начальные условия повторного включения на КЗ можно принять нулевыми, если амплитуда свободных колебаний в конце бестоковой паузы $A_{бп1\min}$ по крайней мере на 90% меньше амплитуды при первом КЗ $A_{кз1\max}$, т. е.

$$A_{бп1\min}/A_{кз1\max} \leq 0,1. \quad (2)$$

Принимая во внимание, что наибольшая (первая) амплитуда свободных колебаний не превосходит амплитуду при первом КЗ ($A_{бп1\max} < A_{кз1}$), получим

$$A_{бп1\max}/A_{кз1\max} < A_{бп1\min}/A_{бп1\max} < 0,1.$$

Так как

$$A_{бп1\min}/A_{бп1\max} \approx e^{-ht_{бп}},$$

то неравенство (2) выполняется (с запасом), если $ht_{бп1} > -\ln 0,1 = 2,3$. Таким образом, прогибы конструкции, нагрузки на изоляторы и напряжения в шинах при повторном включении на КЗ не превосходят (более чем на 10%) соответствующих значений первого КЗ при условии

$$t_{бп} > 2,3/h. \quad (3)$$

Условие (3) дает оценку сверху «безопасной» продолжительности бестоковой паузы. Оно справедливо для любой продолжительности КЗ1, для всех фаз колебания в момент отключения и повторного включения на КЗ (см. рис. 1, в).

Рассеяние энергии при колебаниях определяется внутренним трением в материале шин, изоляторов и опорных конструкций, потерями энергии в креплениях (конструкционным демпфированием) и в специально установленных демпфирующих устройствах, а также аэродинамическими сопротивлениями. Для различных конструкций заводского изготовления напряжением 110 кВ коэффициент затухания h примерно равен $1,6—2,5 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, в соответствии с неравенством (3) жесткую ошиновку 110 кВ не требуется проверять на электродинамическую стойкость при неуспешных АПВ, если время бестоковой паузы больше $0,9—1,4 \text{ с}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. М.: Машиностроение, 1970.
3. Базыкин Р. В., Долин А. П. Исследование стойкости изоляционных опор 3XOHШ-35-2000//Электр. станции. 1984. № 1. С. 53—56.
4. Долин А. П. Электродинамическая стойкость сварных шин//Пром. энергетика. 1983. № 12. С. 23—26.

СПОСОБ ФОРМАЛИЗАЦИИ И ОЦЕНИВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ТЭС НА ЭВМ

*Канд. техн. наук доц. А. И. СОЛОВЬЕВ,
асп. Г. А. КАПРАНОВА, инж. С. М.
ПЕТРОВ, канд. техн. наук ст. науч. сотр.
В. Г. УСКОВ (Моск. энерг. ин-т)*

Процесс технического перевооружения электроэнергетики привел к значительному усложнению технологического оборудования и схем электрических станций (ЭС). В связи с этим сложность комплекса функций, выполняемых оперативным персоналом ЭС, достигла такого уровня, что на сегодняшний день полноценное выполнение этих функций доступно не каждому человеку. Опыт эксплуатации ЭС показывает, что в ряде электроэнергетических систем СССР аварийность по вине оперативного персонала достигает в настоящее время почти 40% общего числа аварий. Поэтому необходимо оценивать деятельность операторов ЭС не только качественно, но и количественно, используя математические модели деятельности человека — оператора на ЭВМ.