

УДК 62-771

РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Кравцов И.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Суходолов Ю. В.

Резонансные методы контроля применяются для выявления витковых замыканий обмоток, как наиболее часто встречающихся и трудноопределимых другими методами дефектов. Они основаны на анализе амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик или использовании резонансных эффектов.

Область использования зависит от вида образуемых резонансных контуров и условий создания в них резонансных процессов. Применение параллельного резонансного контура позволяет обнаружить замыкания витков в катушках и практически не дает результатов при контроле обмотки электрической машины из-за разброса ее параметров, вызванного технологическими причинами.

При контроле электрических машин получили применение методы, основанные на возбуждении импульсами в обмотке, как в резонансном контуре колебательных процессов, по форме которых судят о наличии дефектов. Однако отдельные искажения формы, вызванные витковым замыканием, труднофиксируемы и могут быть приняты за искажения от отклонения параметров исправной обмотки.

Повышение точности контроля основано на использовании резонансного участка частотной характеристики, получающего максимальное изменение при возникновении виткового замыкания и минимальное при отклонении параметров исправной обмотки. Анализ частотных характеристик показывает, что этому критерию отвечает область первого резонанса, и для асинхронных двигателей со всыпными обмотками находится в диапазоне от 10 до 100 кГц.

Разработаны схемы контроля, использующие резонансные процессы для обнаружения виткового замыкания в обмотках электрических машин и трансформаторов. Методы контроля, основанные на этих схемах, позволяют получить, в рассматриваемом диапазоне частот, один явно выраженный максимум результирующей АЧХ. На рис. *a* показана АЧХ, снятая для обмотки асинхронного двигателя АНР63S4. Частотные характеристики, снятые с помощью разработанных схем, определяются выражением:

$$|U(\omega)| = |U_{1\phi}(\omega) - U_{2\phi}(\omega)| = |I_n(\omega)[Z_{1\phi}(\omega) - Z_{2\phi}(\omega)]|$$

Где $U_{1\phi}(\omega)$, $U_{2\phi}(\omega)$ — комплексные величины с частотой ω напряжений, снимаемых с первой и второй фазы контролируемой обмотки; $I_n(\omega)$ — комплексная величина подаваемого на обмотку сигнала; $Z_{1\phi}(\omega)$, $Z_{2\phi}(\omega)$ — комплексные сопротивления, образованные первой и второй фазами обмотки.

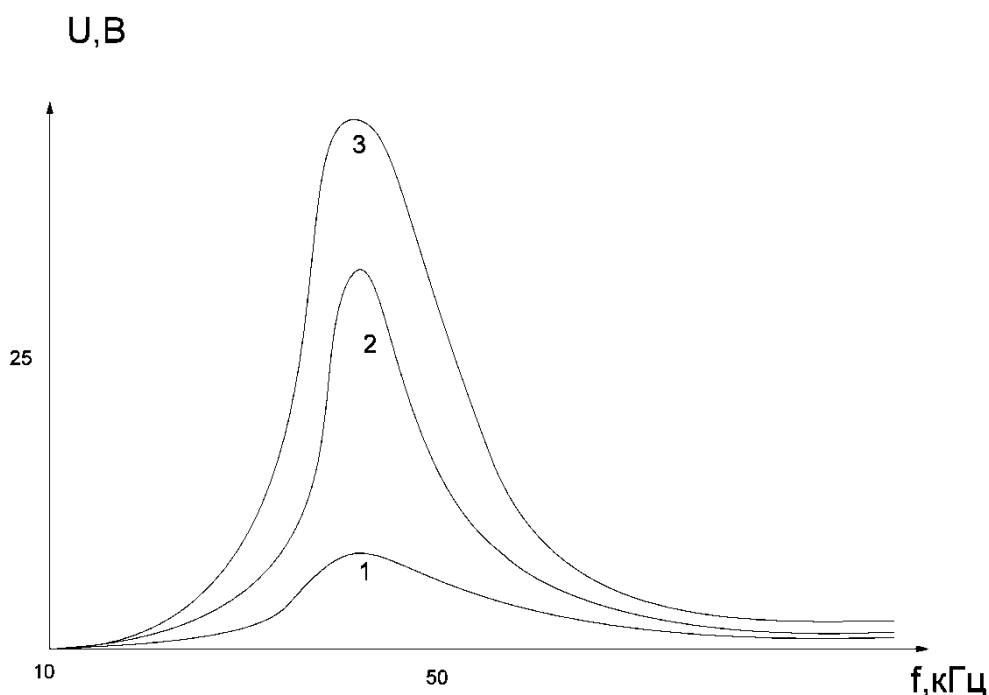


Рисунок а

Чувствительность контроля к одному витковому замыканию будет определяться как относительное увеличение амплитуды сигнала при возникновении дефекта:

$$\Psi = \frac{U_{\text{д}}(\omega) - [U_{\text{н}}(\omega) + \Delta U_{\text{н}}(\omega)]}{U_{\text{н}}(\omega) + \Delta U_{\text{н}}(\omega)}$$

Здесь $U_{\text{д}}(\omega)$, $U_{\text{н}}(\omega)$ — амплитуда выходного сигнала на частоте ω для исправной обмотки и при возникновении одного замкнутого витка в самом неблагоприятном для чувствительности месте; $\Delta U_{\text{н}}(\omega)$ — приращение амплитуды выходного сигнала на частоте ω при максимально допустимом изменении параметров обмотки.

Анализ АЧХ показывает, что наибольшей чувствительности можно достичь, используя частотную область, имеющую частоту на 20—30% ниже частоты максимума.

Чувствительность не определяет возможность обнаружения виткового замыкания, так как приращение амплитуды фиксируемого сигнала при изменении амплитуды входного из-за нестабильностей может быть воспринято как возникновение дефекта. Для исключения этого должно соблюдаться соотношение

$$\frac{|Z_{\text{д}}(\omega)| - |Z_{\text{н}}(\omega)|}{\delta_{\text{E}}|Z_{\text{д}}(\omega)| + \frac{d|Z_{\text{д}}(\omega)|}{d\omega} \Delta\omega} > 1$$

Где $|Z_{\text{д}}(\omega)|$, $|Z_{\text{н}}(\omega)|$ — модули комплексного сопротивления измерительной схемы на частоте ω для исправной обмотки и при возникновении виткового замыкания; δ_{E} — относительная нестабильность амплитуды входного сигнала; $\Delta\omega$ — нестабильность частоты.

Выражение показывает преимущество схем, позволяющих анализировать разность частотных характеристик фаз обмотки, это снижает влияние нестабильности амплитуды входного сигнала. Витки чаще всего замыкаются через сопротивление, достигающее величины 10 Ом, что характеризуется снижением реакции выходного параметра от таких скрытых дефектов. Ввиду этого для обеспечения достоверности контроля исключается

влияние нестабильности амплитуды диагностического сигнала путем анализа состояния обмотки по фазовым соотношениям снимаемых сигналов.

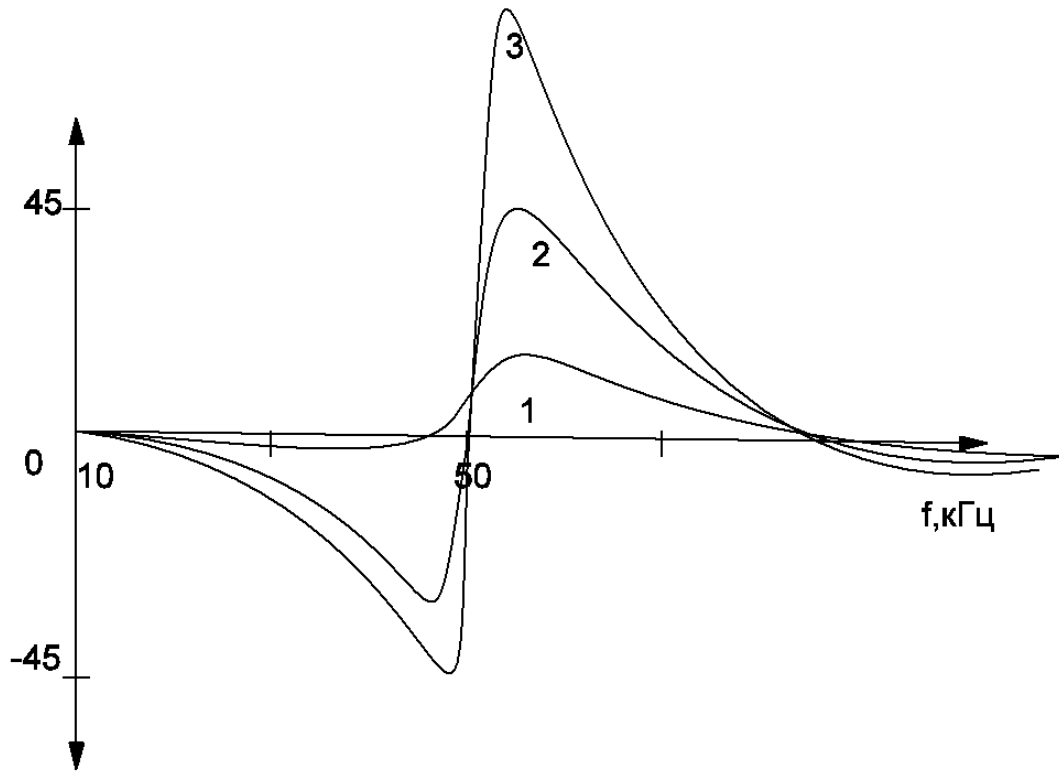


Рисунок б

На рис. б представлены фазочастотные характеристики, снятые для статора асинхронного двигателя АНР63S4. Их анализ показывает возможность контроля обмотки по величине первого максимума разности фаз и по разности фаз на частоте первого перехода через нуль характеристики исправной обмотки. Контроль по величине максимума фазочастотной характеристики производится в условиях мелкосерийного производства, при эксплуатации и ремонте электрических машин путем сравнения полученного максимума с величиной, характеризующей исправную обмотку. При серийном производстве, когда возможно предварительно проанализировать частотные характеристики выпускаемых электрических машин, для получения большей чувствительности целесообразно производить контроль на частоте, соответствующей переходу через нуль частотной характеристики исправной обмотки.

Измеряемая разность фаз снимаемых сигналов может быть различной для разных исправных электрических машин одного номинала. Чтобы это не было принято ошибочно за наличие дефекта, должно соблюдаться условие превышения относительного изменения разности фаз от виткового замыкания над этим же относительным изменением при максимально возможном для исправной обмотки отклонении ее параметров с учетом нестабильности частоты диагностического сигнала и погрешности фазовых измерений

$$\frac{\frac{\Delta\varphi_{д}}{\varphi_{и}} - \frac{\Delta\varphi_{дд} + \Delta\varphi_{ид}}{\varphi_{д}}}{\frac{\Delta\varphi_{и}}{\varphi_{и}} + \frac{\Delta\varphi_{ди} + \Delta\varphi_{ии}}{\varphi_{и}}} > 1$$

Где: $\Delta\varphi_{д}$, $\Delta\varphi_{и}$ — увеличение разности фаз при витковом замыкании и максимально возможном изменении параметров исправной обмотки;

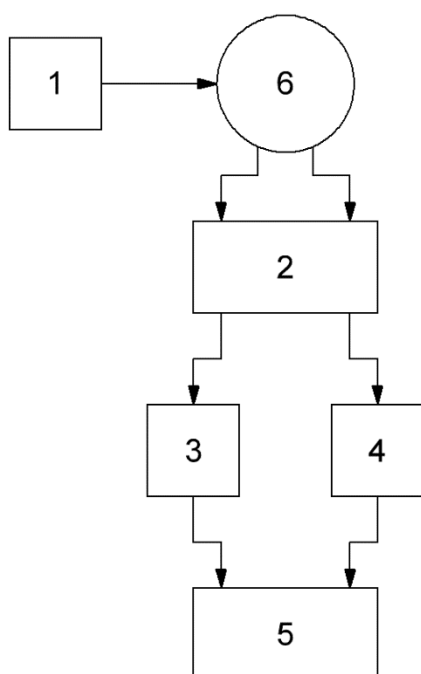
$\varphi_{д}$, $\varphi_{и}$ — измеряемая разность фаз для исправной обмотки и с витковым замыканием;

$\Delta\varphi_{\text{дд}}$, $\Delta\varphi_{\text{ид}}$ — увеличение за счет нестабильности частоты разности фаз для дефектной и исправной обмотки; $\Delta\varphi_{\text{ди}}$, $\Delta\varphi_{\text{ии}}$ — абсолютная погрешность измерения разности фаз при наличии дефекта и для исправной обмотки.

Из выражения следует, что для эффективной реализации контроля необходимо использовать частоту, где максимально отношение $\Delta\varphi_{\text{д}}/\Delta\varphi_{\text{и}}$, так как при измерении на одной частоте можно получить ее высокую стабильность и несоизмеримо меньшую, чем $\Delta\varphi_{\text{д}}$, погрешность измерения фазовых сдвигов. Эта оптимальная частота индивидуальна для каждого типа электрических машин и для асинхронных двигателей мощностью до 10 кВт лежит в пределах от 20 до 80 кГц.

Контроль предусматривает не только обнаружение явных дефектов, но и испытание изоляции, которое проводят с помощью импульсного напряжения. Ввиду этого использование разработанного способа осуществляется путем выделения из снимаемых сигналов соответствующих по частоте спектральных составляющих с максимальной разностью фаз, по величине которой судят о состоянии обмотки.

Функциональная схема устройства, с помощью которого осуществляется контроль, показана на рис. 2.



Контроль выполняется в такой последовательности.

1. Подается периодический импульсный сигнал от генератора 1 на две фазы обмотки статора 6.

2. Снимаются с обмотки сигналы, пропорциональные протекающему по обмотке току.

3. С помощью коммутатора 2 подаются на вход фильтров 3 и 4 сигналы, соответствующие возбуждаемому задним фронтом импульса затухающим колебаниям.

4. Выделяемые фильтрами 3 и 4 гармонические составляющие сравниваются по фазе с помощью измерителя разности фаз.

5. Если разность фаз более установленной для исправного статора величины, то в его обмотке — витковое замыкание.