

КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ромашихин Ю.В., ассист.

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского
39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

У статті наведено класифікацію методів визначення електромагнітних параметрів електричних машин змінного струму. Показані переваги та недоліки існуючих методів, доведена ефективність частотних методів з використанням полігармонічного живлення електричних двигунів.

Ключові слова: електромагнітні параметри, частотні методи, електричні машини

In article the classification of methods concerning the determination of electromagnetic parameters of electric machines having alternating current has been shown. Advantages and shortcomings of existing methods have been indicated, efficiency of frequency methods with polygarmonic power supply in electric motors application has been proved.

Key words: electromagnetic parameters, frequency methods, electric machines

Введение. Требования к надежности и экономической эффективности производства и эксплуатации электрических машин и электроэнергетических систем в целом непрерывно возрастают. Исследование электромеханических процессов, имеющих место в асинхронных машинах, важно для нормальных и аварийных режимов. Одним из наиболее прогрессивных путей следует признать использование для исследований их математических моделей, адекватно отражающих реальные физические процессы.

Анализ предыдущих исследований. Моделирование электромеханических переходных процессов предполагает знание определенной совокупности активных и индуктивных сопротивлений, отражающих связь между токами и потокоцеплениями в магнитосвязанных контурах машины. Условия работы асинхронной машины в энергосистеме или системе электропривода определяются ее электромагнитными параметрами.

Так, например, сверхпереходные индуктивные сопротивления определяют значения максимальных переходных токов и моментов вращения, которые в ряде случаев должны быть ограничены. Аналогично, максимально допустимые значения провалов напряжения при набросе чисто индуктивной или активно-индуктивной нагрузки, а также устойчивость работы при изменениях напряжения или нагрузки определяются значениями сверхпереходного и переходного индуктивных сопротивлений. От значения сверхпереходного индуктивного сопротивления зависят начальный пусковой ток и максимальный асинхронный момент при пуске, скольжение, при котором этот момент достигается.

Следовательно, использование электромагнитных параметров асинхронных машин, адекватно отображающих реальные физические процессы, позволит решать широкий спектр технических задач прогнозирования, контроля, управления процессами в электромеханических и энергетических системах, включающих асинхронные машины.

Целью работы является оценка методов определения электромагнитных параметров машин переменного тока и их классификация.

Материал и результаты исследований. На сегодняшний день существует множество работ, посвященных вопросам идентификации электромагнитных параметров. В отечественной и зарубежной технической литературе освещены разнообразные методы определения параметров электрических машин переменного тока, каждый из которых имеет свои достоинства, недостатки и сферу применения.

Классификация методов определения электромагнитных параметров асинхронного двигателя:

1. Определение электромагнитных параметров из опытов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) [1, 2, 4, 8, 11].

Метод короткого замыкания проводится при сниженном напряжении статора и заторможенном роторе. Метод холостого хода позволяет приблизительно оценить индуктивность цепи намагничивания. Этот метод имеет невысокую точность, т.к. в режиме КЗ проявляются эффекты вытеснения тока в роторе, а в режиме ХХ пренебрегают током в обмотке ротора и насыщением стали.

2. Определение электромагнитных параметров по каталожным данным [4, 18, 20].

Определение электромагнитных параметров проводится по приближенным формулам.

Основным недостатком метода является низкая точность. Это связано с тем, что используется стандартная схема замещения АД, в которой не учитываются нелинейности и физические процессы, проходящие в электрической машине, такие как эффект вытеснения тока в роторе, формирование потерь в стали и др. Метод определения электромагнитных параметров по каталожным данным может быть использован для получения начальных приближений параметров при последующем их использовании в других методах.

3. Определение электромагнитных параметров по переходным характеристикам [17, 21].

Определение электромагнитных параметров требует снятия массивов данных по напряжению, току и скорости во время переходного процесса двигателя (пуск, торможение и др.). Полученные данные необходимо обрабатывать при помощи математической модели.

При составлении уравнений используются упрощения, связанные с понятием идеализированная машина:

- сталь машины ненасыщена;
- фазные обмотки симметричны и сдвинуты в пространстве на 120° ;
- ротор электрически и магнитно-симметричный.

Недостатками систем уравнений являются следующие:

- система уравнений нелинейна, т.к. содержит тригонометрические функции от угла поворота γ ;
- необходимость наличия начальных значений потокоцеплений и токов для решения систем уравнений;
- громоздкость системы уравнений;
- большое количество нелинейных элементов.

4. Определение электромагнитных параметров при питании АД от полигармонического источника [22, 23].

Определение параметров по уточненной схеме замещения, в которой потери в стали эквивалентизированы активным сопротивлением, зависящим от частоты гармоник тока. На одну из обмоток статора подается полигармоническое испытательное напряжение и фиксируются кривые мгновенных значений тока и напряжения статора. Полученные кривые подвергаются разложению в гармонический ряд, определяются составляющие мгновенной мощности для различных гармоник. С помощью полученных данных определяются параметры схемы замещения. Недостатком группы методов является необходимость в полигармоническом источнике питания.

5. Определение электромагнитных параметров при разночастотном питании АД [2, 3, 10, 25].

Для определения частотных характеристик проводят опыт питания обмоток машины синусоидальным напряжением переменной частоты, снимаются напряжения и токи по фазам.

Недостатком метода является необходимость формирования испытательного напряжения синусоидальной формы регулируемой частоты.

6. Определение электромагнитных параметров по совпадению кривых тока и скорости, полученных с АД и на модели [9, 27, 28].

Для определения электромагнитных параметров необходимо фиксировать массивы токов, напряжений и скорости АД во время пуска. При моделировании электрической машины проводится поиск таких ее параметров, при которых пусковые переходные процессы, снятые экспериментально и полученные при помощи моделирования, совпадут.

Недостатком метода является сложность модели и большое время расчета переходных процессов в реальном времени (при каждом изменении параметров необходимо проводить моделирование процесса пуска заново), а также невысокая точность.

7. Определение электромагнитных параметров из опыта затухания тока [2, 13, 16, 17, 24, 29].

Определение параметров из опыта затухания постоянного тока в обмотке статора. Метод основан на анализе частотных характеристик, полученных из осциллограмм затухания токов.

Существует метод определения параметров АД по кривой затухания напряжения статора, вызванного затухающими токами ротора, при отключении обмотки статора от сети в момент перехода тока статора через ноль.

К недостаткам метода можно отнести: необходимость в регулируемом источнике переменного напряжения; определение индуктивности рассеяния статора осуществляется методом удаленного ротора; низкий уровень затухающего напряжения (десятки милливольт), который практически не зависит от величины тока статора. Это влечет за собой большие погрешности при экспоненциальной аппроксимации кривой вследствие зашумленности сигнала, к тому же использование экспоненциальной аппроксимации не позволяет учитывать наличие нелинейностей.

8. Определение электромагнитных параметров при работе АД под нагрузкой [6, 7, 15, 19].

Метод определения параметров схемы замещения АД отличается простотой реализации, так как не требует проведения опыта холостого хода, а использует только данные, полученные в нормальных эксплуатационных режимах работы привода под нагрузкой и в режиме пуска.

Нагружение испытуемого двигателя обеспечивается при помощи дополнительной машины или с помощью тормозного динамометра (рис. 1).

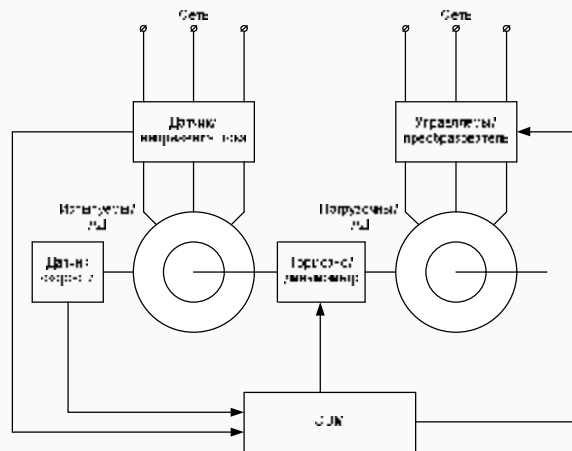


Рисунок 1 – Схема нагружения АД

Недостатком метода является невысокая точность, невозможность учета нелинейностей, сложность математической модели для определения электромагнитных параметров машин переменного тока, а также необходимость использования дополнительного испытательного оборудования.

9. Определение электромагнитных параметров АД при помощи динамического нагружения [26]. Суть метода заключается в формировании на обмотках двигателя напряжения специальной формы, отличной от синусоидальной.

Недостатки метода: необходимость использования источника питания для формирования соответствующего динамического нагружения.

10. Определение индуктивного сопротивления рассеяния статора при удаленном роторе [1, 20].

Порядок проведения измерений состоит в следующем:

- извлекается ротор двигателя;
- подается тестовое воздействие на обмотки статора;
- производится замер полного сопротивления статора;
- вычисляется индуктивное сопротивление рассеяния статора.

Недостатки метода: необходимость в разборке АД; установка контрольной катушки на активную поверхность ротора.

11. Определение параметров по результатам обработки частотных характеристик (ЧХ) (зависимостей проводимостей от скольжения) [2, 12, 17, 25]. Методики получения ЧХ из опыта внезапного КЗ и определение всех параметров на основании ЧХ. При этом ЧХ для анализа могут быть получены как из опыта внезапного КЗ, так и из опытов затухания постоянного тока при неподвижном роторе, опыта замера проводимостей со стороны ротора при различном скольжении ротора, а также из опыта включения неподвижной и вращающейся машины в сеть.

Недостатки метода: проведение эксперимента в режиме, близком к аварийному, что может привести к появлению сразу не замеченных дефектов; субъективность графоаналитических построений.

12. Уточнение электромагнитных параметров АД [8, 30].

При определении параметров асинхронных короткозамкнутых машин необходимо учитывать влияние намагничивающего контура на сопротивление вторичной цепи. В двигателях с увеличенным воздушным зазором погрешность обычно принимаемых допущений при расчете электромагнитного момента иногда достигает десятка процентов.

Учет магнитных потерь возможен с помощью вынесенного на зажимы сети активного сопротивления. В этом случае существенно упрощается структура модели, более просто решается вопрос численного анализа переходных процессов асинхронных машин в энергосистемах ограниченной мощности.

Таким образом, необходимо учитывать такие физические процессы в АД, как эффект вытеснения тока в роторе, нелинейность кривой намагничивания, потери в стали путем введения дополнительных коэффициентов в соответствующие сопротивления схемы замещения. Причем параметры этих сопротивлений должны зависеть от частоты.

Недостатком является необходимость использования какого-либо метода для предварительного определения электромагнитных параметров.

Классификация методов приведена на рис. 2.

Анализ существующих методов показал, что на сегодняшний день нет метода, который был бы равно пригоден как в условиях электроремонтных предприятий, так и на предприятиях, занимающихся производством электрических машин.

Среди действенных и простых методов можно выделить методы с использованием полигармонического питания. При участии автора был разработан ряд методов определения электромагнитных пара-

метров с помощью полигармонического тестового питания [22, 23]. Наиболее перспективными являются методы с использованием полных сопротивлений схемы замещения, уравнений баланса активной и реактивной мощностей, уравнений мгновенной мощности канонического порядка, полных уравнений мгновенной мощности.

Энергетический метод основан на уравнениях баланса составляющих гармоник мгновенной мощности. Сравнительная характеристика каждого из методов определения электромагнитных параметров приведена в [31].

Анализ показывает, что метод с использованием полных уравнений баланса составляющих гармоник мгновенной мощности позволяет определять электромагнитные параметры машин переменного тока, с учетом их нелинейностей, с ошибкой, не превышающей 5% [32]. Уравнения баланса составляющих гармоник мгновенной мощности позволяют получить значительное число идентификационных уравнений для определения электромагнитных параметров двигателей.

Выводы. В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Одним из результатов проведенного анализа является отсутствие универсального метода, который бы позволял определять электромагнитные параметры асинхронных двигателей с учетом нелинейностей и физических явлений в электрической машине с повышенным ресурсом работы, а также тех, которые прошли ремонт.

2. Анализ рассмотренных методов показал, что наиболее эффективными являются методы, в основе которых лежит использование математической модели, в которую могут быть включены все нелинейности и дополнительные элементы для учета изменения характеристик двигателя с повышенным ресурсом работы.

3. Метод с использованием полных уравнений мгновенной мощности позволяет определять электромагнитные параметры ЭМ с достаточной точностью и дает возможность учесть эффект вытеснения тока в роторе, потери в стали, нелинейности и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. Рогозин Г.Г. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока. Новые экспериментальные методы. – К.: Техніка, 1992. – 168 с.
3. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л., Испытания и надежность электрических машин. – М.: Высшая школа, 1988. – 231 с.
4. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1985. – 840 с.
5. Кучерук В.Ю. Елементи теорії побудови систем технічного діагностування електромоторів. Монографія. – Вінниця: Універсам-Вінниця, 2003. – 195 с.
6. Сивокобыленко В.Ф., Калашников В.И., Бондаренко В.И. Синтез параметров схемы замещения асинхронного электропривода // XIV міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми автоматизованого

электроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 167–168.

7. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниуи Х. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных двигателей // Электротехника, 1996, №3. – С.38–41.

8. Сидельников Б.В., Рогачевская Г.С. Корректировка метода опытного определения параметров асинхронных двигателей // XIV міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 167–168.

9. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Михайленко О.В., Федорейко В.С., Худолій С.С., Худий Є.Г. Ідентифікація параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна в пакетному режимі // XIV міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 472–475.

10. ГОСТ 7287–87. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. – М.: Госкомстандарт, 1987. – 52с.

11. ГОСТ 11828–86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. М.: Госкомстандарт, 1986. – 42с.

12. Трещев И.И. Исследование динамических режимов в машинах переменного тока по переходным функциям // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1991, №2. С.46–50.

13. А.с. №1372259 СССР, МКИ G 01R 31/34. Способ определения активных и индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора асинхронного двигателя / Г.Г. Рогозин, Ю.И. Печуркин, В.И. Алексеев.

14. А.с. №1295347 СССР, МКИ G 01R 31/34. Способ определения активного, индуктивного сопротивления и ЭДС асинхронного двигателя по высшим гармоникам / С.И. Кузовков, Н.Г. Широков.

15. А.с. №1531039 СССР, МКИ G 01R 31/34. Способ определения параметров контуров ротора глубокопазного асинхронного двигателя / В.Ф. Сивокобыленко, В.С. Гармаш.

16. Рогозин Г.Г., Пятлища Н.Г. Способ идентификации асинхронной машины по экспериментальным данным её динамического режима // Электричество, 1981, №4. – С.47–49.

17. Казовский Е.Я. Определение переходных процессов в машинах переменного тока с помощью частотной характеристики // Электричество. – 1960, №4. – С.30–37.

18. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 528 с.

19. Янко-Триницкий А.А. Новый метод анализа работы синхронных двигателей при резкопеременных нагрузках. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958.

20. Слодарж М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных двигателей. – М.: Энергия, 1977. – 216 с.

21. Постников И.М. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин. Учебник для вузов, изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 319 с.

22. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Эффективность метода энергодиагностики параметров двигателей переменного тока // Электроприводы переменного тока: Труды международной 14 НТК. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2007, С. 273–278.

23. Ромашихин Ю.В., Родькин Д.И., Калинов А.П. Энергетический метод идентификации параметров асинхронных двигателей // Вісник КДПУ. 36. наук. праць КДПУ. – Вип. 3 (44). – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 130–136.

24. Калинов А.П. Анализ методов идентификации электромагнитных параметров синхронных двигателей // 36. наук. праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 15. 2004, Кіровоград. – С. 110–119.

25. Резник Д.В., Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения // Электроприводы переменного тока: Труды международной 14 НТК. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2007, С. 279–284.

26. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электрических двигателей при послеремонтных испытаниях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.

27. Желдак Т.А. Ідентифікація параметрів асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором без навантаження в складі автоматизованого комплексу / Автореферат дисертації. НГАУ. Дніпропетровськ. – 2002.

28. С’янов О.М. Характеристики і електромагнітні параметри асинхронних двигунів з масивними феромагнітними елементами / Автореферат дисертації. Інститут електродинаміки НАН України. Київ. – 2000.

29. Черный А.П., Родькин Д.И., Сидоренко В.Н., Калинов А.П. Определение параметров АД по непрерывной функции тока статора с дискретным временем // Вісник КДПУ. 36. наук.праць КДПУ – Вип. – 3 (26). – Кременчук: КДПУ, 2004. – С.123–128.

30. Калінов А.П. Визначення параметрів двигунів змінного струму при полігармонійному живленні обмоток статора / Автореферат дисертації. КДПУ. Кременчук. – 2005.

31. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Оценка эффективности методов диагностики двигателей переменного тока // Вісник КДПУ. 36. наук. праць КДПУ. – Вип. 3 (38). – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 77–82.

32. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Возможности и эффективность метода энергодиагностики в идентификационных задачах // XIV міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2007. – С. 507–512.

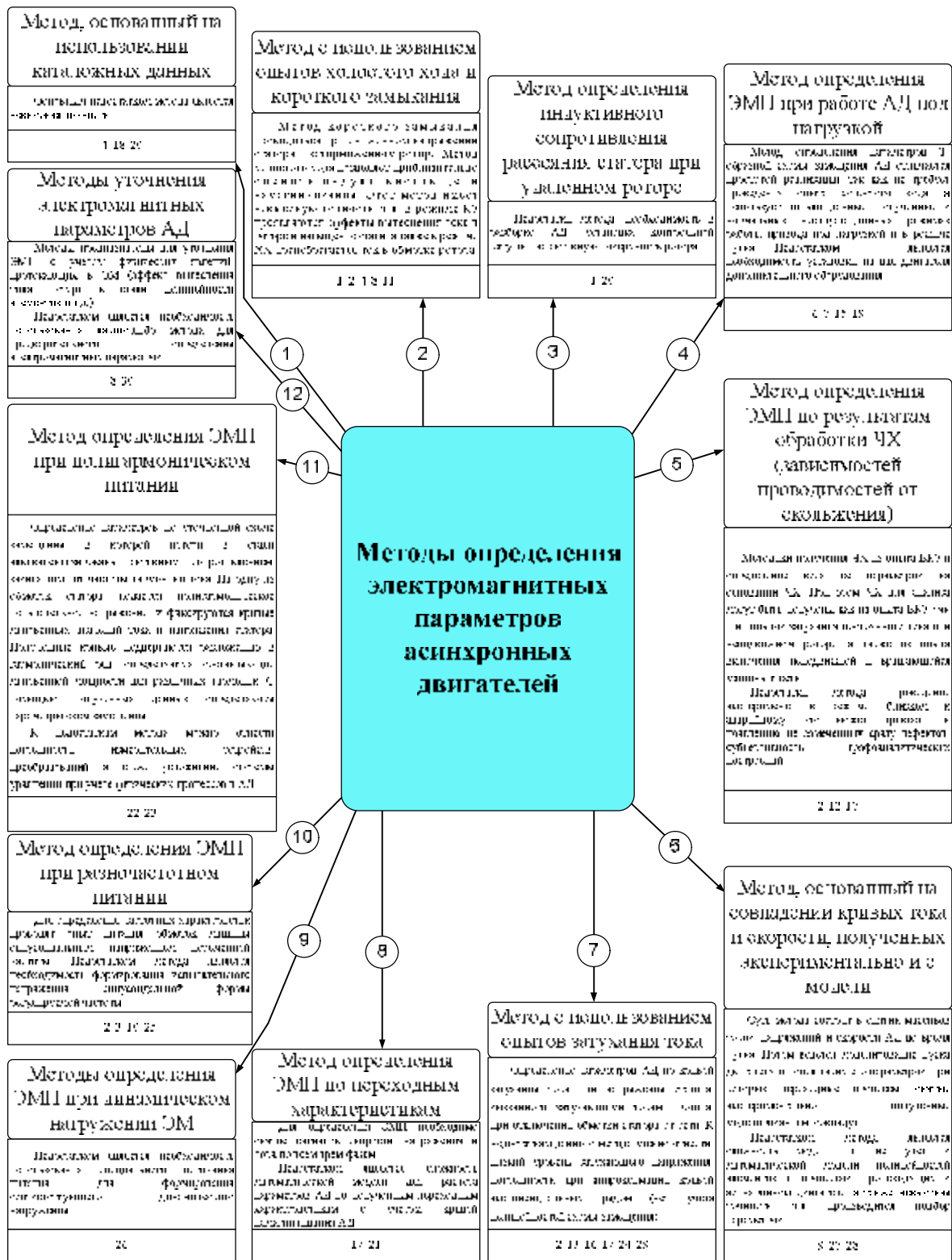


Рисунок 2 – Классификация методов определения электромагнитных параметров

Стаття надійшла 18.07.2008 р.
 Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
 Каліновим А.П.