

мощность источника (IGBT-транзисторы выполняются в настоящее время на напряжение до 1000В и ток до 1000А) и создает дополнительные потери мощности.

Источники с регулирующими генераторами на постоянных магнитах уступают источнику с генератором электромагнитного возбуждения, выполняемого в бесконтактном варианте по схеме подвозбудитель – возбудитель – вращающийся выпрямитель – обмотка возбуждения генератора (13,15 кг и 15,2 кг соответственно), однако в случае необходимости обеспечения стартерного режима работы генератора генератор электромагнитного возбуждения не обеспечивает этот режим.

Литература

1. Кривлев А.В. Методы проектирования цифровой системы управления мехатронного модуля привода с вентильным двигателем. М.: Издательство МАИ-ПРИНТ, 2009, 192 с.
2. Лохнин В.В. Регулируемый синхронный генератор. Авт. Св-во №1029345.83, Бюл. №26.

Подбор системы электростартерного пуска с емкостным накопителем энергии и аккумуляторной батареей

к.т.н. доц. Малеев Р.А., Шматков Ю.М.

Университет машиностроения

495-223-05-23, доб. 1574

Аннотация. В статье представлены разработанные на кафедре «Автотракторное электрооборудование» Университета машиностроения различные способы и задачи по подбору систем электростартерного пуска с емкостным накопителем энергии и аккумуляторной батареей для конкретных ДВС и проведен их анализ.

Ключевые слова: система электростартерного пуска, емкостный накопитель энергии, аккумуляторная батарея, частота вращения

Традиционные системы электростартерного пуска (СЭП) с аккумуляторными батареями (АБ) обычно рассчитывают на минимальные пусковые частоты вращения и соответствующие им моменты сопротивления, которые определяют при экспериментальных исследованиях двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в холодильных камерах или по рекомендациям ОСТ и ГОСТ, соответствующим данному типу двигателя и заданным условиям пуска.

Рекомендации по минимальной пусковой частоте и моменту сопротивления в отраслевом стандарте даны на основании материалов экспериментального исследования большого числа как отечественных, так и зарубежных двигателей. Поскольку испытания обычно проводились с целью исследования их материалов при последующем проектировании или подборе СЭП с АБ, то прокручивания валов двигателей при определении моментов сопротивления и для построения пусковых характеристик при различных условиях пуска проводились при установке на испытуемый ДВС электростартера, мощность которого близка к мощности электростартера, установка которого предполагается на данный ДВС. При этом питание электростартера осуществляется от стартерной АБ или низковольтного агрегата.

При использовании в СЭП емкостного накопителя энергии (НЭ) (либо без АБ в разрядной цепи на СЭ, либо в комбинации с АБ при их параллельном соединении) наивыгоднейший вариант СЭП по выбранному показателю качества (минимум массы всей СЭП, минимум массы источника тока СЭП, минимум объема, стоимости и т.д.) может оказаться при частоте вращения коленчатого вала ДВС большей минимальной пусковой частоты, что может привести к необходимости определения параметров СЭП с НЭ и СЭП с комбинированным источником тока (КИТ) во всем диапазоне пусковых частот вращения вала ДВС. Следовательно, желательно во всем диапазоне пусковых частот сравнить параметры указанных систем пуска между собой и с традиционной СЭП с АБ.

Здесь следует отметить, что при выборе минимальной пусковой частоты вращения n_{\min} для всех автомобильных ДВС и при всех условиях пуска оговаривается допустимое время пуска (две попытки по 10 с для бензиновых двигателей и одна или две попытки по 15с для

дизелей). Кроме того, указывается, что n_{\min} СЭП с АБ должна развивать при 75% заряженности АБ и в начале 3-й попытки пуска. Все это позволяет обеспечить необходимый запас по попыткам пуска ДВС, который обеспечит достаточную в предельных условиях надежность пуска ДВС.

В соответствии с типовыми пусковыми характеристиками ДВС $t_n = f(n_{cp})$ с увеличением расчетной частоты вращения n_{cp} по отношению к минимальной частоте вращения n_{\min} возрастают момент сопротивления и требуемая мощность электростартера, что неизбежно ведет к увеличению номинальной емкости АБ, объема и массы системы пуска в целом. В то же время продолжительность пуска ДВС с увеличением n_{cp} уменьшается.

С другой стороны время пуска имеет существенное значение для СЭП, где в качестве самостоятельного источника тока или в комбинации с АБ используется НЭ с ограниченным запасом энергии. Именно поэтому с увеличением n_{cp} благодаря уменьшению времени пуска, несмотря на увеличение момента сопротивления M_c , могут быть улучшены показатели как СЭП с НЭ, так и СЭП с КИТ. Все это требует тщательного изучения, прежде чем можно будет приступить к проектированию новых систем пуска с НЭ, которые могли бы стать конкурентоспособными СЭП с АБ.

Решения задачи подбора СЭП с КИТ и определения параметров КИТ могут быть самыми разнообразными в зависимости от постановки задачи и наличия необходимых исходных данных. Существует несколько вариантов таких задач.

1. Задан конкретный ДВС с определенными известными параметрами и пусковыми качествами при различных температурах и СЭП с АБ (штатная или рекомендуемая для установки) также со всеми необходимыми параметрами и характеристиками для проведения расчета. Требуется из существующих НЭ подобрать такой (или найти параметры такого НЭ), который в заданных условиях пуска обеспечит вращение коленчатого вала ДВС с заданной средней частотой вращения в течение заданного промежутка времени.

При такой постановке задачи СЭП с КИТ должна совершить вполне определенную работу по вращению коленчатого вала (или СЭ должен совершить вполне определенную полную механическую работу $W_{\text{мехп}}$) за время пуска t_n , т.е. по пусковой характеристике $t_n = f(n_{cp})$ ДВС, даже если СЭП с КИТ имеет возможность и далее, после окончания t_n , вращать коленчатый вал ДВС (рисунок 1).

В процессе прокручивания СЭ может остановиться (при $t = t_k$), но если $t_k \geq t_n$, то за время t_k СЭ совершит необходимую работу. В том же случае, если $t_k < t_n$, условие задачи не выполняется, так как время прокручивания меньше заданного t_n .

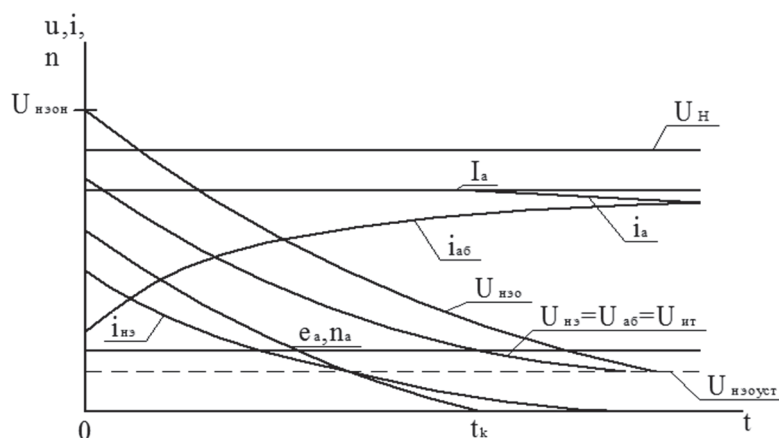


Рисунок 1. Зависимости средних параметров СЭП с КИТ от времени прокручивания

СЭ (U_n – номинальное напряжение АБ; $U_{нэон}$ – начальное напряжение заряда НЭ; $U_{нэо}$ – напряжение НЭ при разомкнутой внешней цепи; I_a – ток якоря стартерного электродвигателя; i_a – сила тока АБ; $i_{aэ}$ – сила тока НЭ; n_a – частота вращения якоря СЭ; e_a – ЭДС якоря СЭ; $U_{нэоуст}$ – установившееся напряжение источника тока, t_k – время до остановки СЭ)

Итак, здесь должны быть выполнены два условия: стартер должен выполнять определенную механическую работу $W_{\text{мехп}}$ за время $t_{\text{п}}$, и время до остановки СЭ не должно быть меньше заданного времени $t_{\text{п}}$. Так как эта задача носит проектный характер, то значения $W_{\text{мехп}}$ и $t_{\text{п}}$ для расчетчика должны быть точно заданы.

В рассматриваемом варианте определения параметров СЭП с КИТ и ее сравнительной оценки с другими системами пуска для данного ДВС могут быть заданы вполне определенные АБ и электростартер, отвечающие соответствующим требованиям. Однако на практике могут встретиться случаи применения более вязкого масла при той же расчетной температуре, необходимости осуществления пуска ДВС при более низкой температуре, при большей, чем 75%, разряженности АБ, ее значительной изношенности (большой срок службы) и т. д. При подборе СЭП необходимо знать, к каким затратам приведет повышение надежности при неблагоприятных условиях.

Для расчета СЭП с КИТ в данном случае необходимо иметь типовые рабочие характеристики электростартера, знать его полное внутреннее сопротивление, а для АБ необходимы сведения о ее внутреннем сопротивлении и зависимости его от температуры. Для НЭ должно быть известно внутреннее сопротивление, емкость и допустимое по техническим условиям напряжение заряда.

2. Задан конкретный двигатель с определенными известными параметрами и пусковыми качествами при различных условиях пуска, штатный (или рекомендуемый) электростартер и НЭ со всеми необходимыми параметрами и характеристиками для расчета. Требуется из существующих АБ подобрать такую батарею (или найти параметры АБ определенного типа), которая в заданных условиях пуска обеспечивает вращение коленчатого вала ДВС с заданной средней частотой в течение заданного периода времени. Задача аналогична по своей сути предыдущей и решается также с условием выполнения двух условий: СЭ должен выполнить определенную механическую работу $W_{\text{мехп}}$ за время $t_{\text{п}}$, а время до остановки СЭ не должно быть меньше $t_{\text{к}}$. Здесь, как и в предыдущем варианте, возможны различные варианты СЭП с КИТ, так как могут быть исследованы различные варианты АБ, обеспечивающие совместно с заданным НЭ в КИТ, необходимые характеристики пуска, но с различным временем $t_{\text{к}}$ (от $t_{\text{к}} = t_{\text{п}}$ до $t \rightarrow \infty$).

В первом и втором вариантах задач расчетчику могут быть заданы дополнительные условия: стартер за время $t_{\text{п}}$ останавливается ($t_{\text{п}} = t_{\text{к}}$); после определенного разряда НЭ ($i_{\text{нэ}} \rightarrow \infty$) ЭДС якоря СЭ и частота вращения его $n_{\text{а}}$ должны приближаться к нулю (при $t_{\text{к}} \rightarrow \infty$); $t_{\text{п}} < t_{\text{к}} < \infty$; т.е. остановка СЭ предусматривается, но при $t_{\text{к}} > t_{\text{п}}$; после определенного разряда НЭ ($i_{\text{нэ}} \rightarrow 0$) ЭДС якоря СЭ и частота вращения якоря $n_{\text{ааб}}$ приближаются к определенным значениям, задаваемым заказчиком (например, $n_{\text{мин}}$ на валу ДВС); может быть задано определенное время вращения вала якоря СЭ и ДВС, в течение которого частота вращения вала ДВС превышает $n_{\text{мин}}$ или любую заранее заданную (рисунок 1).

Так как рассматриваемый вариант задачи, как и первый вариант, являются проектными, то должна быть проведена сравнительная оценка комбинаций НЭ и АБ в СЭП с КИТ при всех расчетных частотах вращения, напряжения заряда НЭ, постоянной времени $\tau_{\text{нэ}}$ (для второго варианта), конструктивных и эксплуатационных характеристиках АБ по основному критерию качества. Поэтому в исходных данных должны быть необходимые данные для расчета этого критерия.

В первом и втором вариантах задачи при заданном ДВС и соответственно АБ или НЭ может быть рассмотрен другой электростартер с заданными параметрами и характеристиками.

3. Данный вариант в наибольшей степени отвечает требованиям проектного расчета КИТ и СЭП с КИТ в целом. Заданы ДВС и СЭ с необходимыми параметрами и характеристиками и требуется подобрать комбинацию НЭ и АБ для КИТ, обеспечивающую заданные характеристики пуска ДВС и имеющую наилучшие показатели по сравнению с другими системами пуска. В этом случае исследуется влияние всех параметров как НЭ, так и АБ на показатели СЭП с КИТ и процесса пуска ДВС СЭП с КИТ. Также можно рассмотреть другой

стартер и сравнить СЭП с различными КИТ и СЭ.

Рассматриваемый вариант должен быть базовым для определения такой комбинации АБ и НЭ (минимальная емкость АБ и максимальная емкость НЭ), при которой $t_k = t_p$.

Во всех трех вариантах желательно сразу же, до расчета параметров процесса прокручивания вала ДВС и самой СЭП с КИТ, найти пределы напряжения заряда НЭ $U_{нэон}$, в которых имеет место совместная работа НЭ и АБ в КИТ и нет перераспределения энергии между НЭ и АБ. Верхний предел напряжения заряда НЭ по условию $U_{нэон} \leq U_n + I_a R_{нэ}$ необходимо знать, чтобы в расчете при больших напряжениях заряда можно было использовать формулы для определения параметров процесса прокручивания вала ДВС при самостоятельной работе НЭ в КИТ на СЭ. В практике такой вариант может встречаться довольно часто, особенно в тех случаях, когда сопротивление НЭ мало и достаточно велико допустимое по ТУ перенапряжение заряда НЭ по сравнению с номинальным напряжением НЭ $U_{нэн}$.

4. Определенный интерес представляет вариант решения задачи, когда заданы ДВС и электростартер с необходимыми характеристиками, а НЭ выбирается из условия, что при всех возможных напряжениях заряда НЭ $U_{нэон}$ (начиная от $U_{нэон} = U_n$) соблюдается условие $U_{нэон} = U_n + I_a R_{нэ}$. В этом случае сразу же определяются параметры НЭ (емкость $C_{нэ}$, постоянная времени $\tau_{нэ}$, масса $m_{нэ}$) и по принципу, изложенному выше в варианте задачи 3, определяются параметры АБ по условию $t_k \geq t_p$ и совершению СЭ необходимой механической работы $W_{мехп}$ за время t_p . Здесь также возможны различные комбинации НЭ и АБ в КИТ, из которых выбирается наилучшая комбинация по выбранному показателю качества.

Выполнение такой работы с исследовательскими целями (для выявления влияния различных факторов, параметров ДВС, СЭ, НЭ и АБ на характеристики процесса прокручивания ДВС, показатели СЭП с КИТ и других систем) требует большого объема расчетов и может быть выполнена только с использованием специальных прикладных программ. Предлагаемая в дальнейшем методика расчета различных вариантов СЭП с КИТ и ее сравнительной оценки с СЭП с АБ или с СЭП с НЭ является основой для составления программы расчета.

Выводы

1. При исследовании различных вариантов подбора СЭП с АБ и НЭ выявлены основные критерии определения параметров таких СЭП.
2. Варианты подбора СЭП с АБ и НЭ служат основой для составления методики расчета СЭП с КИТ.

Литература

1. Квайт С.М., Менделевич Я.А., Чижков Ю.П. Пусковые качества и системы пуска авто-тракторных двигателей. - М., Машиностроение, 1990.- с.256.: ил.
2. Чижков Ю.П. Исследование процесса прокручивания коленчатого вала двигателя при использовании в системе электростартерного пуска емкостного накопителя энергии. Межвузовский сборник научных трудов «Автомобильные и тракторные двигатели». Выпуск XIV.- М. МАМИ, 1998.- с.197-217.