

Система электростартерного пуска двигателя с емкостным накопителем энергии

к.т.н. доц. Малеев Р.А., Мычка Н.В., Гулин А.Н
Университет машиностроения
+79262350847

Аннотация. В работе рассматривается использование в системе электростартерного пуска двигателя емкостного накопителя энергии. Приведены результаты расчетных исследований по влиянию величины начального зарядного напряжения емкостного накопителя энергии на основе характеристик системы электростартерного пуска для автомобильного двигателя, оборудованного штатной системой пуска.

Ключевые слова: система электростартерного пуска, емкостной накопитель энергии, аккумуляторная батарея, энергия

В последние годы повышенное внимание уделяется системам электростартерного пуска (СЭП) с емкостными накопителями энергии (НЭ), в которых в качестве НЭ используется батарея конденсаторов или молекулярные накопители. НЭ обладает малым внутренним сопротивлением и высокой удельной мощностью, что позволяет их использовать в СЭП в качестве промежуточных источников энергии.

Простейший принцип использования НЭ в СЭП заключается в том, что между аккумуляторной батареей (АБ) и электростартером размещается НЭ. Во время работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) НЭ вместе с АБ подзаряжается, что обеспечивает возможность пуска ДВС после непродолжительной остановки. Перед пуском холодного ДВС НЭ в течение 30-90 с заряжается от АБ. Время заряда определяется установленной силой разрядного тока АБ. При пуске ДВС НЭ в течение 1-5 с разряжается на электростартер, прокручивающий коленчатый вал ДВС. Так как АБ разряжается на НЭ в течение более длительного времени по сравнению с продолжительностью процесса пуска ДВС, то емкость АБ можно значительно уменьшить. Изменяя режимы зарядки НЭ, можно в широких пределах изменять емкость АБ. Благодаря меньшим разрядкам тока АБ (зарядкам тока НЭ).

Появление возможности пуска ДВС от сильно разряженных и изношенных АБ или при низких температурах (-30°C), когда в стартерных режимах АБ становится неработоспособной. Кроме того, при отсутствии или выхода из строя АБ НЭ может быть заряжен от других нетрадиционных для СЭП источников тока, если они обеспечивают требуемые параметры и характеристики зарядного режима.

Возможны самые разнообразные схемные решения СЭП с НЭ с использованием как низковольтных, так и высоковольтных НЭ.

Преимущества СЭП низкого напряжения – это полная электробезопасность, лучшее совмещение с существующей низковольтной системой электрооборудования ДВС или транспортного средства и, как следствие, возможность более раннего внедрения такой системы не только на проектируемых транспортных средствах и стационарных ДВС, но и на уже находящихся в эксплуатации.

Преимущества СЭП высокого напряжения – это меньшие размеры НЭ (при большой удельной энергии), небольшой силы ток электростартера, что позволяет уменьшить сечение стартерного провода и снизить потери мощности в стартерной сети, возможность использования для пуска ДВС непосредственно энергию электрических сетей. В слаботочных цепях высоковольтных СЭП можно шире применять элементы электронной автоматики. Однако при переходе на более высокое напряжение по отношению к номинальному напряжению систем электрооборудования автомобиля необходим преобразователь напряжения. На повышенное напряжение должен быть рассчитан и электростартер. Внедрение таких систем на автомобилях связано с необходимостью разработки мероприятий по обеспечению электробезопасности.

Для окончательного решения данного вопроса необходимо проведение всесторонних

теоретических исследований, подтвержденных результатами экспериментальных исследований ДВС в холодных камерах. В данной статье результаты расчетных исследований по влиянию величины начального зарядного напряжения НЭ на основе характеристик СЭП для автомобильного ДВС, оборудованного штатным СЭ. Расчет параметров СЭП с НЭ производится по методике, изложенной в [1]. При расчете параметров СЭП не рассматривались вопросы, связанные с преобразователями напряжения, а также коммутационной вспомогательной аппаратурой.

Применение на автомобильных ДВС СЭП с НЭ независимо от выбранной схемы и уровня напряжения будет оправдано в том случае, если они по своим технико-экономическим показателям не уступают традиционным СЭП с АБ. На данном этапе сравнения двух систем пуска целесообразно проводить по габаритно-массовым показателям. При использовании одинакового электростартера сравнение двух систем может быть проведено по объему и массе источников тока общих СЭП. Для СЭП с АБ – это сама АБ, а для СЭП с НЭ – измеряемый объем и масса НЭ и используемой для его зарядки АБ.

Для примера был проведен компьютерный расчет параметров СЭП с НЭ для ДВС ВАЗ 2114, оборудованного штатным электростартером 35.3708, при температуре пуска -20°C . Для проведения сравнительного анализа СЭП с различными источниками питания был также произведен расчет СЭП с АБ, параметры которой определялись в соответствии с рекомендациями ОСТ 37.001.052-88 «Автомобили и автомобильные двигатели. Требования к пусковым качествам». Результат расчетов приведен в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Сравнительная таблица параметров СЭП с НЭ

Параметры СЭП	Начальное зарядное напряжение НЭ $U_{нэ}$, В				
	10	12	14	16	18
Средняя частота вращения коленчатого вала n , мин^{-1}	82,8	103,3	122,5	140,0	155,4
Время пуска $t_{п}$, с	6,49	5,63	4,83	4,10	3,46
Механическая работа электростартера $W_{\text{мех}}$, кДж	2,29	2,58	2,73	2,74	2,64
Суммарное сопротивление цепи разряда НЭ R_{Σ} , Ом	0,021	0,023	0,026	0,029	0,032
Емкость НЭ $C_{нэ}$, ф	196,3	140,7	104,5	79,5	61,5
Емкость АБ в неродной цепи НЭ $C_{2\text{онэ}}$, Ач	11,6	9,95	8,62	7,49	6,52
Объем накопителя $V_{нэ}$, Дм^3	14,1	10,1	7,52	5,72	4,43
Масса НЭ $m_{нэ}$, кг	28,3	20,3	15,1	11,4	8,9
Суммарный объем источников питания V_{Σ} , Дм^3	16,1	12,2	9,59	7,78	6,44
Суммарная масса СЭП $m_{\text{сэп}}$, кг	39,7	31,9	26,7	23,1	20,4
Отношение объемов источников питания, K_v	2,68	2,02	1,59	1,29	1,07
Отношение масс СЭП, K_m	2,03	1,63	1,37	1,18	1,04

При расчете параметров СЭП НЭ имел следующие параметры: постоянная времени $\tau_{нэ}=1\text{с}$; удельная энергия по массе $-0,5$ Дж/кг; удельная энергия по объему -1 Дж/ см^3 . При проведении расчетов вначале определяется зависимость всех основных параметров СЭП от средней пусковой частоты вращения n , а затем определяются параметры СЭП, соответствующие заданным характеристикам НЭ.

Для обеспечения запуска ДВС с определенной средней пусковой частотой вращения n НЭ может иметь большее допустимое внутреннее сопротивление, а следовательно, и большую постоянную времени $\tau_{нэ}$ при увеличении начального зарядного напряжения $U_{нэ}$. Поэтому при заданном типе НЭ (заданной постоянной времени $\tau_{нэ}$) пуск будет происходить при

более высоких пусковых частотах вращения n при увеличении $U_{неп}$. По этой же причине возрастает суммарное сопротивление цепи разряда НЭ R_{Σ} с ростом $U_{неп}$. С увеличением n , в соответствии с пусковой характеристикой ДВС, уменьшается время пуска τ_p , а затем несколько снижается. При увеличении $U_{неп}$ несколько возрастает требуемая начальная энергия НЭ, но значительно (в квадрате) снижается требуемая емкость НЭ $C_{нэ}$ и, как следствие, объем $V_{нэ}$ и масса НЭ $m_{нэ}$. При заданной постоянной времени зарядки цепи НЭ уменьшение требуемой емкости НЭ $C_{нэ}$ с увеличением $U_{неп}$, приводит к увеличению требуемого сопротивления цепи заряда НЭ и допустимого сопротивления АБ в зарядной цепи НЭ. Поэтому емкость АБ в зарядной цепи НЭ $C_{2онэ}$ с увеличением $U_{неп}$ уменьшается, что приводит к снижению ее массы и объема и, следовательно, к уменьшению суммарного объема источников питания (АБ и НЭ) V_{Σ} и массы всей СЭП $m_{сэп}$.

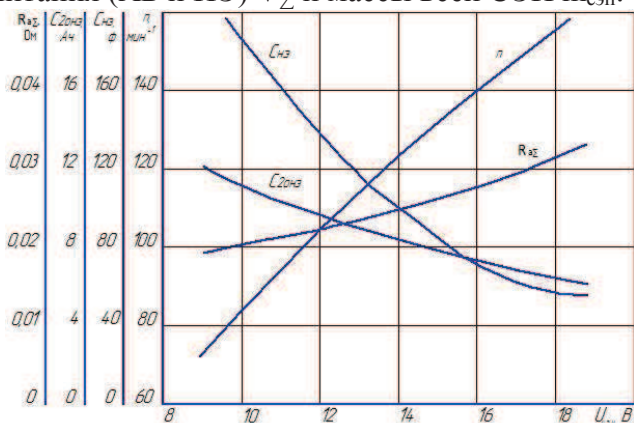


Рисунок 1. Зависимость параметров системы электростартерного пуска с накопителем энергии от величины начального зарядного напряжения НЭ $U_{нэ}$

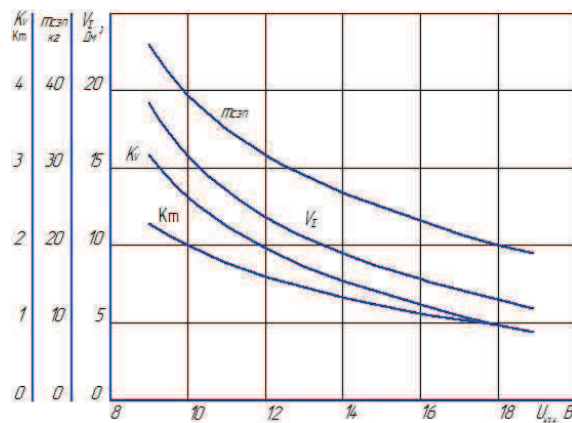


Рисунок 2. Зависимость массы системы электростартерного пуска $m_{сэп}$, объема источников питания V_{Σ} и относительных параметров K_v , K_m от величины начального зарядного напряжения накопителя энергии $U_{нэ}$

Для проведения сравнительного анализа были определены параметры СЭП с АБ, при которых обеспечивается пуск ДВС в течение 10 с со средней пусковой частотой вращения $n=42 мин^{-1}$ (в соответствии с ОСТ 37.001.052-88). При этом АБ должна иметь емкость 29,3 АЧ, объем 60,3 Дм³ и массу 12,1 кг.

С увеличением начального зарядного напряжения НЭ $U_{неп}$ массы и объем СЭП с НЭ снижается, и при $U_{неп}>18,5 В$ она становится предпочтительна традиционной СЭП с АБ по габаритам и массе ($K_v<1$, $K_m<1$).

Литература

1. Чижков Ю.П., Малеев Р.А., Меркулов Р.В., Седькин И.В. Определение основных параметров системы электростартерного пуска для автомобильного двигателя с емкостными накопителями энергии //Сб. научных трудов МАМИ: Электрическое и электронное оборудование автомобилей, тракторов и их роботизированных производств. –М.: МАМИ, 1992, с. 101-105.
2. Tom Denton Automobile Electrical and Electronic Systems.// Associate Lecturer, Open University. -2010, -с 110-127.