

Разработка контактно-транзисторной системы зажигания

Методические указания по выполнению курсовой работы по
дисциплине «Электронная автоматика и техника»

Исходные данные для проектирования

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Геометрическая степень сжатия	8	9	9,5	10	8	9	9,5	10	8	9	9,5	10	8	9	9,5	10	8	9	9,5	10
Частота вращения двигателя при пуске $n_{сп}$ об/мин	100	105	110	113	116	120	125	100	105	110	113	116	120	125	100	105	110	113	116	120
Частота вращения двигателя $n_{стmax}$ об/мин	7000	6500	6000	5000	4500	4000	7000	6500	6000	5000	4500	4000	7000	6500	6000	5000	4500	4000	7000	6000
Величина искрового промежутка свечи δ , мм	0,7	0,65	0,75	0,7	0,65	0,75	0,7	0,65	0,75	0,7	0,65	0,75	0,7	0,65	0,75	0,7	0,65	0,75	0,65	0,7
Коэффициент запаса по вторичному напряжению K_3	2,0	1,9	1,8	1,6	1,7	1,9	1,4	1,5	2,0	1,9	1,8	1,6	1,7	1,9	1,4	1,5	1,7	1,9	1,4	1,5
Экранирование системы	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н	Э	Н
Тип транзистора	ГТ701	ГТ810А	КТ816Г	КТ818Г	ГТ806В	ГТ806Б	ГТ806Д	ГТ906	ГТ813В	2Т818А	2Т825А	ГТ701	ГТ810А	ГТ701	ГТ810А	КТ816Г	КТ818Г	ГТ806В	ГТ806Б	ГТ806Д
Напряжение бортовой сети \underline{U}_6 , В	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5	13,5	14,5
Относительное время замкнутого состояния контактов прерывателя τ_3 , с	0,4	0,45	0,55	0,5	0,6	0,4	0,45	0,55	0,5	0,6	0,4	0,45	0,55	0,5	0,6	0,4	0,4	0,45	0,55	0,5

Число цилиндров двигателя, Z задается индивидуально.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется разработке систем, позволяющих экономить топливо и уменьшать выбросы токсичных веществ.

Перед автомобильной промышленностью поставлены серьезнейшие задачи по снижению удельного расхода топлива автомобилями за счет совершенствования конструкции двигателей, применения электронных устройств и улучшения аэродинамики. По данным исследований с помощью электронных систем зажигания достигается экономия топлива от 3 до 18 % в процессе эксплуатации автомобилей.

Сфера применения электронных систем на автомобилях и мотоциклах непрерывно расширяется, что позволяет существенно повысить надежность и стабильность работы двигателя, а также решить ряд новых функциональных задач.

Автомобильные электронные системы усложнились и совершенствовались по мере развития технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем. Так, на базе больших интегральных схем были разработаны электронные системы автоматического управления двигателями и агрегатами автомобилей, в их числе информационные системы, комплексные системы управления подачей топлива, зажиганием, рециркуляцией отработавших газов, системы управления движением автомобиля. В настоящее время исследования направлены на создание систем управления двигателями и агрегатами автомобиля на базе микропроцессоров.

Применение электронных устройств на автомобиле позволяет улучшить работу двигателя, повысить безопасность и комфортабельность. Следует ожидать широкого внедрения электронных систем на дизелях, а также, по мере снижения стоимости элементов электронных систем, дальнейшего их внедрения на мотоциклах.

Для совершенствования автомобилей требуется создавать специализированные электронные системы и аппараты, датчики и исполнительные устройства; вносить необходимые изменения в конструкцию двигателя и агрегатов автомобиля, а для успешной их эксплуатации — организовать широкую сеть пунктов технического обслуживания, с подготовкой соответствующего персонала.

Применяемые на современных автомобилях электронные системы предназначены для выполнения следующих основных функций:

- 1) повышения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов (электронные системы зажигания, впрыскивания топлива; электронные системы управления работой карбюратора; комплексные системы управления работой двигателя и автоматической коробки передач);
- 2) повышения безопасности с помощью электронных систем предотвращения заноса автомобиля при торможении (антиблокировочные системы), электронных систем централизованного диагностирования и сигнализации при возникновении неисправности, автоматических ремней безопасности;
- 3) повышения удобства управления при использовании электронных дисплеев на панели приборов; бортового компьютера, управляющего различными системами автомобиля; автоматической трансмиссии; системы автоматического выбора скорости движения; электронной системы рулевого управления; системы управления стеклоподъемниками и стеклоочистителями; системы регулирования дорожного просвета;
- 4) улучшения комфортабельности в результате использования системы кондиционирования воздуха; системы очистки воздуха; радиоприемника, магнитофона, внешней радиотелефонной связи.

1 ЭНЕРГИЯ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Процесс сгорания в карбюраторном двигателе обычно разделяют на три фазы: *начальная* — формирование развитого фронта пламени из начального очага горения, созданного искровым разрядом в свече;

основная — распространение фронта пламени на большую часть камеры сгорания, приводящее к сгоранию основной массы; рабочей смеси;

конечная — завершение сгорания рабочей смеси за фронтом пламени и ее догорание в слоях, прилегающих к стенкам камеры сгорания.

На длительность начальной фазы горения влияют состав и температура рабочей смеси, давление и скорость ее перемещения. Длительность основной фазы горения незначительно зависит от физико-химических параметров рабочей смеси, а длительность конечной фазы горения сильно зависит от параметров рабочей смеси вблизи стенок камеры сгорания, однако влияние этой фазы на показатели двигателя несущественно.

На режимах работы двигателя, близких к максимальной мощности (для состава смеси, при котором коэффициент избытка воздуха $\alpha = 0,85 \div 0,98$), рабочий процесс в нем не лимитируется временем сгорания смеси. При обеднении рабочей смеси ($\alpha = 1,0 \div 1,4$) и работе двигателя на режимах с ухудшенными условиями протекание рабочего процесса сгорания смеси затягивается в основном вследствие увеличения времени развития начальной фазы процесса. Это повышает расход топлива и уменьшает мощность двигателя. К таким режимам относятся:

а) режимы малых (частичных) нагрузок, особенно при высокой частоте вращения коленчатого вала двигателя, когда сокращается время, отводимое на процесс сгорания рабочей смеси, увеличивается доля остаточных газов в рабочей камере, уменьшаются давление и температура смеси в конце такта сжатия;

б) режим холостого хода - рабочая смесь переобогащена и сильно разбавлена остаточными газами;

в) переходные режимы, при которых смесь обедняется или обогащается;

г) режим пуска двигателя, характеризующийся резкой неоднородностью смеси, низкими значениями ее температуры и давления.

Проведенные экспериментальные исследования зажигания рабочей смеси показали, что на начальную фазу развития процесса горения влияют параметры искрового разряда в свече: энергия и длительность, зазор между электродами.

На мощность, экономичность и токсичность двигателя существенно влияет изменение момента зажигания. Для каждого режима работы двигателя имеется оптимальный момент зажигания, обеспечивающий наилучшие показатели двигателя. Допуск на угол поворота коленчатого вала, определяющего момент зажигания, обычно выбирают в пределах $\pm 2^\circ$. Исследованиями выявлено, что параметры искрового разряда влияют на оптимальный угол опережения зажигания и на допуск этого угла.

В режиме максимальной мощности" двигателя влияние параметров искрового разряда на допуск оптимального угла опережения зажигания крайне незначительно. Обычно считают, что энергия индуктивной фазы искрового разряда в свечах на рабочих режимах двигателей со степенью сжатия до 8,8 и а до 1,15 должна составлять 10—15 МДж, а длительность индуктивной фазы разряда 1000—2000 мкс. В двигателях со степенью сжатия свыше 9 энергия индуктивной фазы в разряде достигает 50 МДж, а длительность 2000—2500 мкс. Получение такой энергии возможно только при применении электронных систем зажигания.

2 ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ СИСТЕМАМ ЗАЖИГАНИЯ

Основными тенденциями развития автомобильных и мотоциклетных карбюраторных двигателей массового производства, которые определяют требования к современным системам зажигания, являются резкое повышение их экономичности и дальнейшее снижение токсичности отработавших газов, снижение частоты и трудоемкости обслуживания в эксплуатации.

Повышение экономичности двигателей и снижение их токсичности осуществляют за счет обеднения состава рабочей смеси, повышения степени сжатия, совершенствования камер сгорания и впускных трактов, организации завихрения рабочей смеси, увеличения зазора в свечах, использования режимов работы в зонах, близких к детонационным, применения турбонаддува и т. п. Сокращение периодичности и снижение трудоемкости обслуживания в эксплуатации двигателя и автомобиля (мотоцикла) в целом представляет собой важную народнохозяйственную задачу, так как способствует существенному повышению производительности труда на транспорте, сокращению простоев и вынужденных остановок.

Все это обуславливает как ужесточение существующих, так и возникновение новых требований к системе зажигания. Ниже перечислены основные требования, предъявляемые к системе зажигания и ее аппаратам на современном этапе.

1. Высокое вторичное напряжение должно с определенным запасом обеспечивать надежное искрообразование в свечах на всех рабочих режимах, включая режим пуска двигателя, когда возможны колебания напряжения в сети электроснабжения, а также при изменениях температуры окружающей среды.

2. Энергия и длительность искрового разряда в свечах должны быть достаточными для надежного воспламенения рабочей смеси на всех режимах работы двигателя, включая режим пуска холодного двигателя.

На переходных режимах работы непрогретого двигателя в зависимости от конструкции двигателя и свечи, мощности двигателя, частоты вращения коленчатого вала и т. п. энергия разряда в свече должна составлять 10—50 МДж при его длительности 1—2,5 мс. Чем длительнее искровой разряд, тем меньше содержится в отработавших газах несгоревших углеводородов, тем более полно происходит сгорание рабочей смеси.

3. Скорость нарастания вторичного напряжения dU_2/dt должна быть достаточной для обеспечения надежного искрообразования при наличии нагара на изоляторе свечи, образовавшегося в процессе длительной эксплуатации. В современных системах зажигания эта скорость составляет 200—700 В/мкс. Чем выше скорость, тем меньше влияние нагара на величину вторичного напряжения, тем надежнее искрообразование.

4. Вторичное напряжение при экранировании как системы зажигания в целом, так и отдельных ее аппаратов и элементов должно быть достаточно для надежного искрообразования в свечах. В соответствии с требованиями ГОСТ 17822—78 на автомобилях и мотоциклах вводятся усиленные средства помехозащиты (экранированные свечные наконечники со специальным проволочным резистором, специальный проволочный резистор, встроенный в бегунок распределителя, полуэкранированная высоковольтная часть распределителя и т. п.). Все эти меры приводят к повышению емкостной нагрузки во вторичной цепи катушки зажигания, для их осуществления необходимо создание более высокого вторичного напряжения. Суммарные

значения емкостной нагрузки в полностью экранированных системах составляют 180 пФ, а полужащирированных— 100 пФ.

5. Система зажигания должна автоматически обеспечивать опережение момента зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки, температуры и других параметров работы двигателя.

Воспроизведение с необходимой точностью заданных характеристик опережения зажигания, а также асинхронизм искрообразования, относятся к числу важнейших требований к системе зажигания. Эти параметры в значительной степени определяют мощностные и экономические показатели двигателей, а также токсичность отработавших газов.

Для получения максимальной экономичности и мощности двигателя при минимальной токсичности необходимо соблюдение сложных законов управления моментом зажигания в зависимости от ряда параметров двигателя, что возможно только при применении системы зажигания с электронным регулированием момента в зависимости от скорости, нагрузки, температуры, детонации и др.

6. Электронные аппараты и элементы системы зажигания должны устойчиво и надежно работать при чрезмерных напряжениях в сети автомобиля. В соответствии с РТМ 37.003.031—83 «Изделия автомобильные электронные. Общие технические требования» все автомобильные электронные изделия должны сохранять работоспособность при превышении допустимых значений напряжения в системе электроснабжения (перенапряжение). Для системы с напряжением 12 В при отключенной аккумуляторной батарее в зависимости от длительности воздействия аппараты и элементы должны выдерживать следующие импульсы перенапряжения указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Электрическая прочность аппаратуры систем зажигания

Импульс перенапряжения, В	150	112	62	42	21
Длительность, мс	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,3	10	300

Это требует как использования различных специальных решений по защите полупроводниковых элементов, так и выбора элементов, рассчитанных на более высокое напряжение (транзисторов, диодов и т. п.).

7. Аппараты системы зажигания должны надежно работать при вибрации, присущей автомобилю и двигателю. Аппараты, устанавливаемые на кузове автомобиля, должны работать при допустимом уровне вибрации (5—10)g, а аппараты, устанавливаемые непосредственно на двигателе, — при уровне вибрации (20—40)g.

8. Аппараты системы зажигания должны надежно работать в широких температурных интервалах (от —40 до + 125°С). Для аппаратов, находящихся под капотом, диапазон рабочих температур составляет от —40 до +90 °С, а аппаратов, размещенных на двигателе (например, для датчиков), — от —40 до + 125°С, так как существуют такие режимы работы двигателя, при которых на небольшое время температура аппаратов, установленных непосредственно на двигателе, может достигать 110°С и более. В северных районах минимальная температура может достигать —55 °С.

9. Ресурс аппаратов и всей системы зажигания в целом должен быть не ниже ресурса автомобиля (мотоцикла).

10. Обслуживание аппаратов системы зажигания во время эксплуатации должно быть минимальным.

11. При неуклонном повышении вторичных напряжений и энергии разряда система должна потреблять минимально возможной силы ток от сети электроснабжения.

12. Аппараты системы зажигания должны иметь минимальные размеры и массу. При этом конструктивно аппараты, как правило, должны быть выполнены таким образом, чтобы выдерживать воздействия, обусловленные эксплуатацией автомобиля в различных климатических зонах.

13. Конструкция аппаратов системы зажигания должна обладать высокой технологичностью (соответствовать требованиям массового производства), низкой трудоемкостью изготовления; быть пригодной для широкого применения в производстве автоматизированной техники и иметь низкую стоимость. Как правило, новые системы зажигания должны окупаться в течение первого года их эксплуатации.

Первым и основным требованием к системе зажигания является надежное воспламенение рабочей смеси в цилиндрах двигателя на всех режимах работы с запасом по вторичному напряжению, что обеспечивается коэффициентом запаса K_3

3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПО ВТОРИЧНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ

Развиваемое системой зажигания вторичное напряжение при реальных условиях эксплуатации должно превышать пробивное напряжение свечей с определенным запасом K_3 . Отношение вторичного напряжения U_{2M3} в системе зажигания к пробивному напряжению U_n свечей называют коэффициентом запаса по вторичному напряжению:

$$K_3 = U_{2M3} / U_n$$

На пробивное напряжение свечей влияют следующие факторы:

- давление и температура в камере сгорания в момент электрического пробоя искрового промежутка (зазора) свечи;
- искровой промежуток свечи;
- форма и температура электродов свечи, а также скорость нарастания вторичного напряжения на электродах;
- состав рабочей смеси в камере сгорания;
- скорость движения рабочей смеси в зоне искрового промежутка свечи;
- материал электродов свечи.

Пробивное напряжение свечи подчиняется закону Пашена

$$U_n = f(p\delta/T),$$

где p - давление в камере сгорания в момент пробоя;

δ - искровой промежуток свечи;

T - абсолютная температура среды в камере сгорания в момент пробоя.

Для ориентировочных подсчетов при равномерной напряжённости электрического поля часто пользуются эмпирической формулой $U_n = 1,36 + 115,8p\delta/T$, которая не

учитывает неоднородность электрического поля между электродами, импульсный характер напряжения и другие факторы.

Форма электродов свечи после 1,5—2 тыс. км пробега изменяется, что оказывает влияние на пробивное напряжение. Скругление электродов в результате электроэрозии приводит к тому, что электрическое поле между электродами становится более равномерным, в результате увеличивается напряжение $U_{п}$ свечи при том же зазоре на 20—25%. После 2,0—2,5 тыс. км пробега напряжение $U_{п}$ свечи по этой же причине не повышается и его дальнейшее увеличение происходит только вследствие возрастания искрового промежутка свечи из-за износа электродов. В пределах гарантийного пробега автомобиля напряжение $U_{п}$ по указанной причине обычно возрастает также на 20—25%.

Скорость нарастания вторичного напряжения dU_2/dt на электродах свечи незначительно влияет на увеличение пробивного напряжения. У серийных систем зажигания эта скорость составляет 100—200 В/мкс, и пробивное напряжение практически не повышается. Однако при повышении скорости нарастания напряжения dU_2/dt с 300 до 1000 В/мкс и более пробивное напряжение при прочих равных условиях возрастает на 20—30%, что объясняется соизмеримостью времени формирования искрового разряда в свече со временем нарастания на ней вторичного напряжения.

Из изложенного следует, что пробивное напряжение в свечи при установке систем зажигания с напряжением $dU_2/dt=100\div 200$ В/мкс в процессе эксплуатации может увеличиваться в течение гарантийного пробега (до подрегулировок электродов свечей) на 40—50 %• Поэтому коэффициент запаса по вторичному напряжению K_3 при проектировании выбирают для всех режимов работы системы не менее 1,4—1,5.

Величины $U_{п}$ и U_{2M3} определяют K_3 . Напряжение $U_{п}$ в свечах достигает максимальных значений в режимах пуска двигателя (в конце пуска) при $n_e=150\div 300$ об/мин и разгона автомобиля (в начальной стадии) при $n_e=800\div 1000$ об/мин и снижается в большинстве случаев при возрастании n_e на рабочих режимах вследствие увеличения температуры двигателя. Поэтому при проектировании системы зажигания необходимо знать зависимости $U_{п}=f(n_e)$ для режимов пуска двигателя и разгона автомобиля, включая максимальную частоту вращения $n_{e\ max}$ коленчатого вала. Для ориентировочных расчетов достаточно знать напряжение $U_{п}$ в трех характерных точках: при максимальной частоте вращения в режиме пуска, в режиме разгона автомобиля при 800—1000 об/мин и при максимальной частоте вращения в рабочем режиме.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

На стадии проектирования двигателя и системы зажигания (скорость нарастания U_{2M} не более 300 В/мкс) пробивные напряжения на всех режимах работы можно определять по ОСТ 37.003.003—70. В нем для расчета пробивного напряжения применен метод определения $U_{п}$ по номограммам. Определить пробивное напряжение новой свечи в режиме пуска можно по номограмме, приведенной на рисунке 1.

Для расчета необходимы следующие исходные данные: геометрическая степень сжатия ε , искровой промежуток δ новой свечи и частота вращения n_e коленчатого вала при пуске (пусковая частота).

Расчет ведут следующим образом: на оси ε откладывают значение ε_r , затем через эту точку и точку, определяющую пусковую частоту вращения коленчатого вала двигателя на оси n_e , проводят прямую до пересечения с осью $p_{сж}$. Полученную на оси $p_{сж}$ точку соединяют прямой с точкой на оси δ , соответствующей заданному или выбранному зазору в свече. Точка пересечения этой прямой с осью $U_{п}$ дает искомое значение пробивного напряжения новой свечи в режиме пуска двигателя.

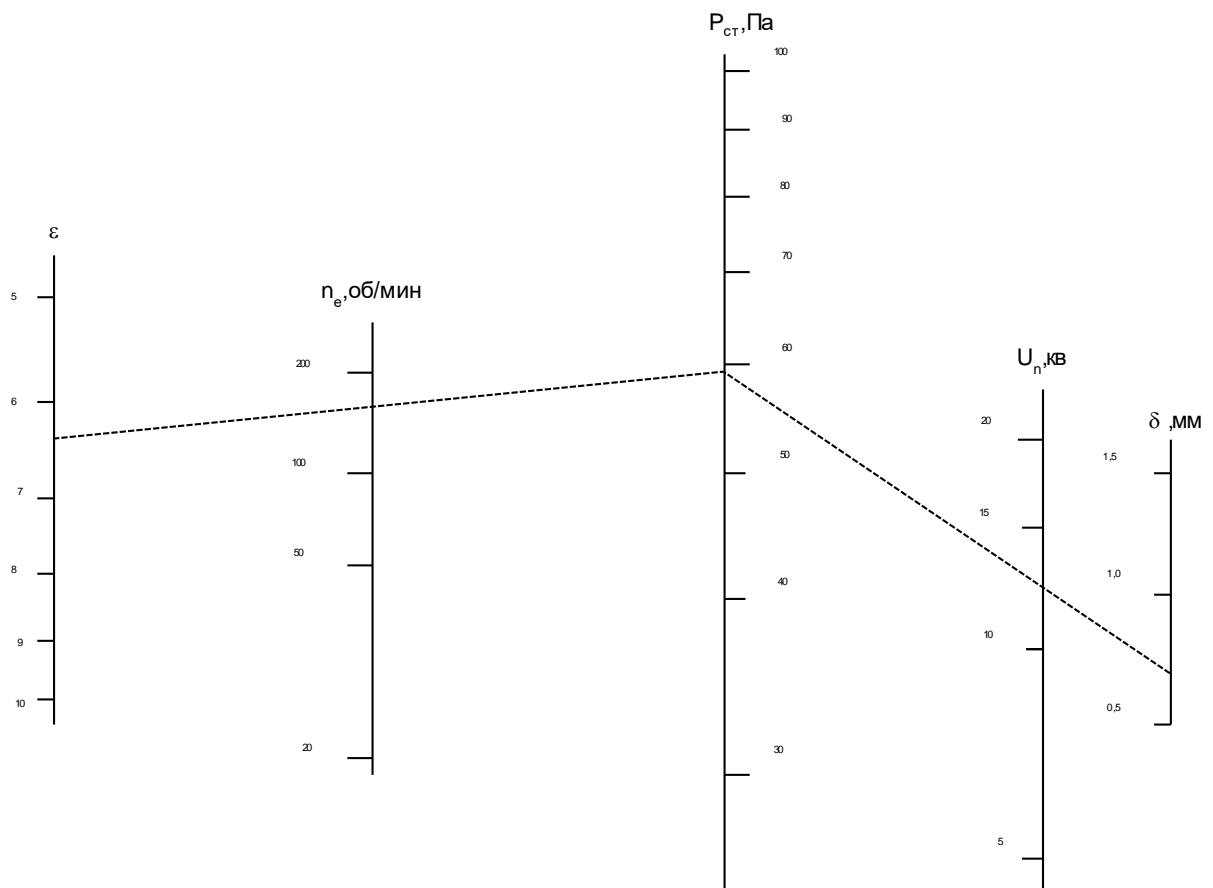


Рисунок 1 – Номограмма определения пробивного напряжения свечи в режиме пуска двигателя

Пробивное напряжение новой свечи в режимах максимальной мощности двигателя и разгона определяют по номограммам, данным на рисунках 2,3 и 4. Расчет ведут для искрового промежутка 0,7 мм по формуле

$$U_{n0,7} = U_{n1} - \Delta U_{n2} - \Delta U_{n3}$$

где: U_{n1} — пробивное напряжение свечи при температуре +20 °С, определяемое по номограмме (рисунок 2);

ΔU_{n2} — снижение пробивного напряжения свечи в результате ионизации при температуре сжатия, определяемое по номограмме (рисунок 3);

ΔU_{n3} — снижение пробивного напряжения свечи вследствие ионизации под влиянием температуры центрального электрода свечи, определяемое по номограмме (рисунок 4).

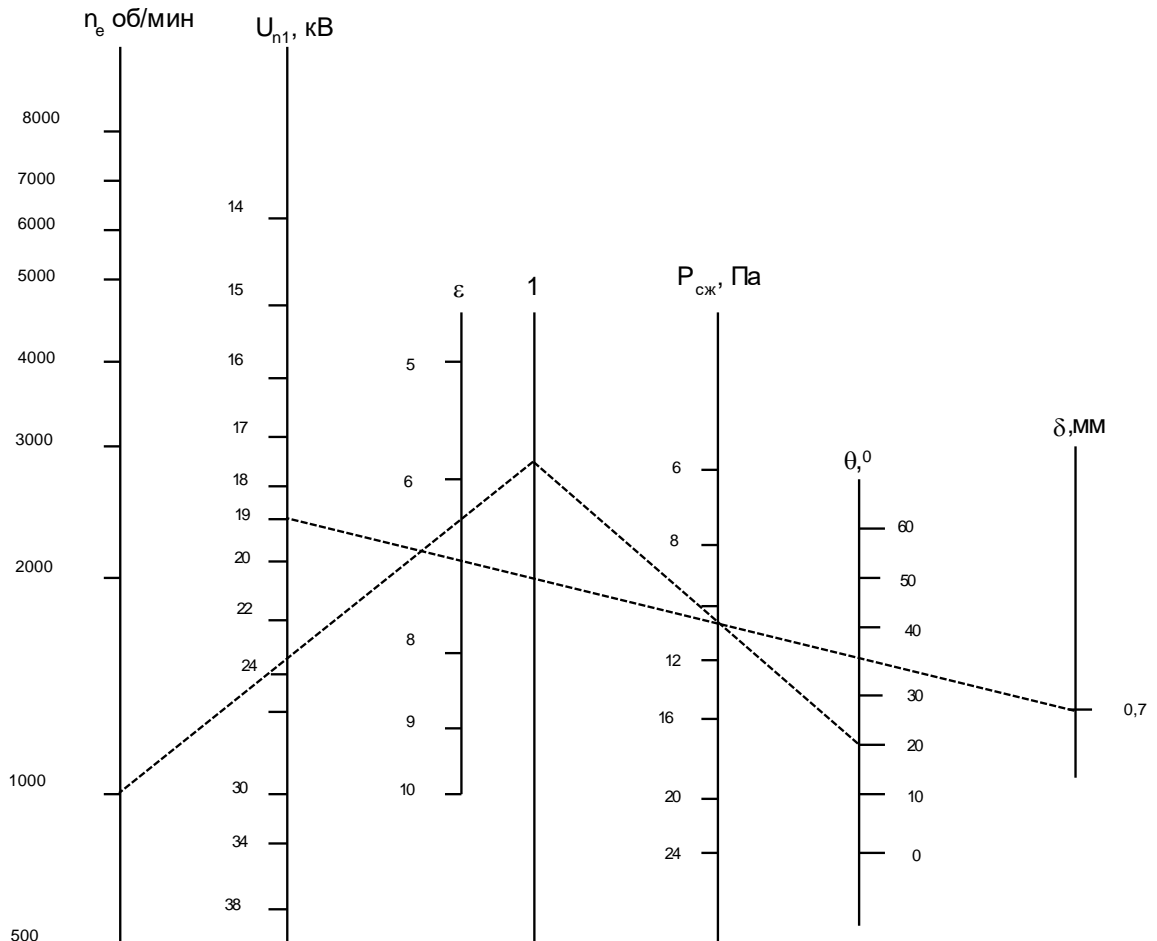


Рисунок 2 – Номограмма для определения пробивное напряжение свечи при температуре +20 °С

Пробивное напряжение U_{n1} определяют по номограмме (рисунок 2). Для расчета необходимы следующие исходные данные: геометрическая степень сжатия ε_r , частота вращения коленчатого вала двигателя и угол опережения зажигания θ . Угол опережения зажигания выбирают из характеристик центробежного автомата распределителя базовой модели двигателя или по приведенным ниже данным (таблица 2).

Таблица 2 – Условные характеристики центробежного автомата

N , об/мин.	1000	2000	3000	4000	5000	6000
θ ,	10	20	30	35	40	45

На оси ε откладывают заданное значение степени сжатия. Через полученную точку и точку на оси n_e , соответствующую выбранной частоте вращения коленчатого вала двигателя, проводят прямую до пересечения с осью 1.

Полученную точку на оси 1 и точку на оси θ , соответствующую углу опережения зажигания для выбранной частоты вращения коленчатого вала двигателя, соединяют прямой, продолжая ее до пересечения с осью $p_{сж}$. Полученную точку на оси $p_{сж}$ и точку на оси δ , соответствующую зазору в свече 0,7 мм, соединяют прямой линией и продолжают ее до пересечения с осью U_{n1} .

ΔU_{n2} определяют по номограмме (рисунок 3) аналогичным образом. На оси ε откладывают заданное значение ε_r и полученную точку соединяют с точкой на оси n , соответствующей заданной частоте вращения коленчатого вала двигателя, линию продолжают до пересечения с осью 1.

Точку на оси 1 соединяют прямой с точкой на оси θ , соответствующей заданному углу опережения зажигания для выбранной частоты вращения коленчатого вала двигателя, и на пересечении с осью $T_{сж}$ находят точку, которую соединяют прямой линией с точкой на оси 2, полученной от пересечения с прямой, проведенной через точку, отложенную на оси $p_{сж}$ (из номограммы, приведенной на рисунке 2), и точку на оси δ , соответствующую зазору свечи 0,7 мм.

Пересечение прямой линии, соединяющей точки на оси 2 и оси $T_{сж}$, с осью ΔU_{n2} дает искомое значение ΔU_{n2} .

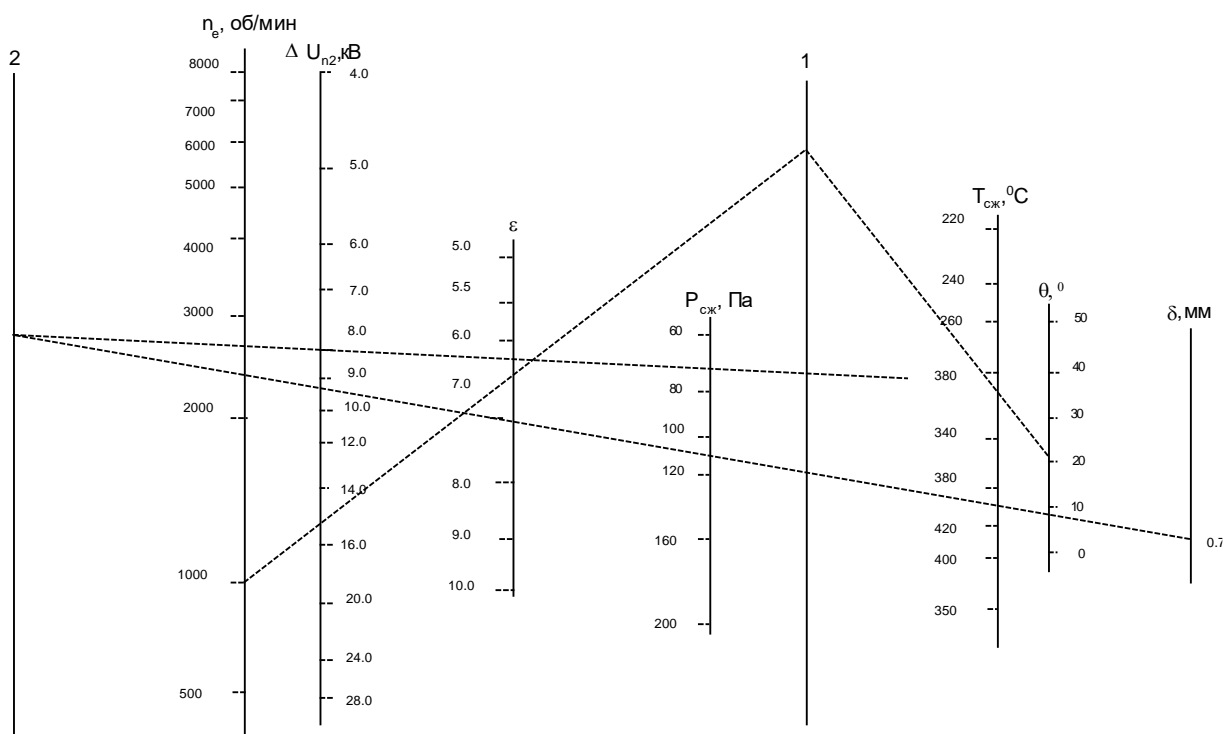


Рисунок 3 – Номограмма определения ΔU_{n2} - снижения пробивного напряжения свечи в результате ионизации при температуре сжатия

Третий член формулы находят по номограмме, приведенной на рисунке 4. На оси $p_{сж}$ откладывают значение $p_{сж}$, определенное ранее по номограмме (рисунок 2) и через полученную точку и точку на оси δ , соответствующую зазору 0,7 мм, проводят прямую до пересечения с осью a . Полученную точку на оси a соединяют с точкой на оси n , соответствующей заданной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Пересечение полученной прямой с осью ΔU_{n3} дает искомое значение ΔU_{n3} .

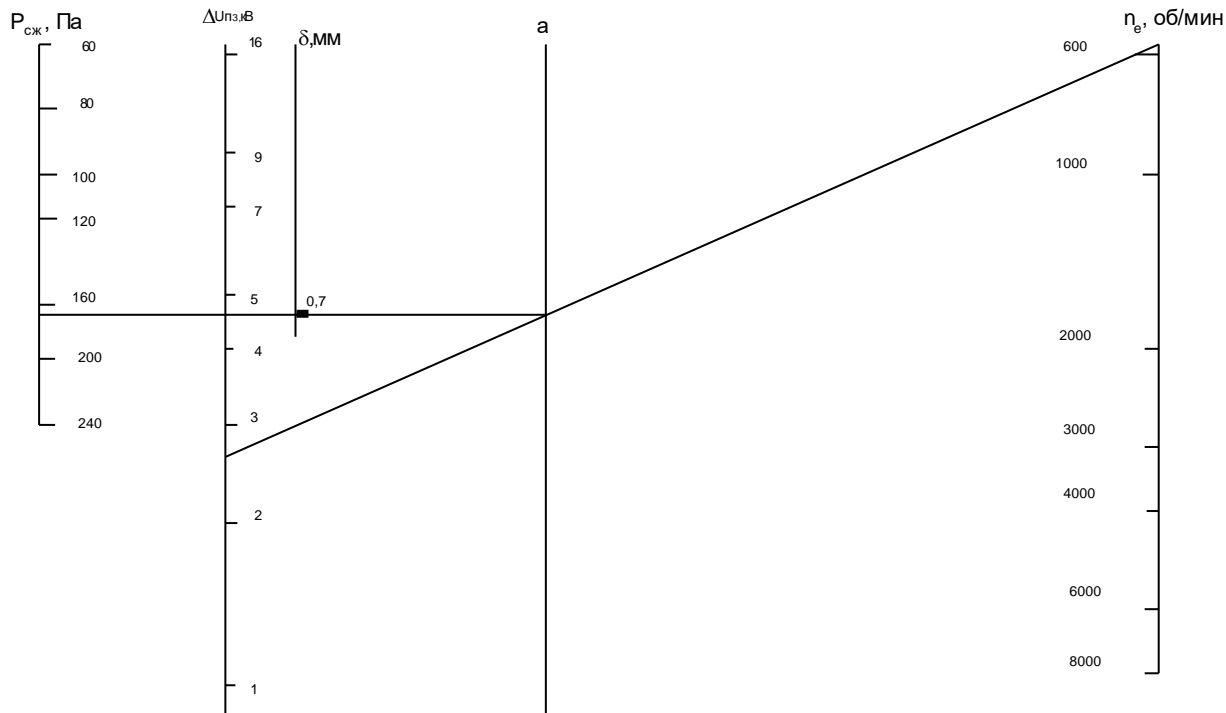


Рисунок 4 – Номограмма снижения пробивного напряжения свечи вследствие ионизации под влиянием температуры центрального электрода свечи

Для зазора свечи, отличающегося от 0,7 мм, значение пробивного напряжения определяют по формуле

$$U_{n\delta} = U_{n0,7} + 10(\delta - 0,7)$$

В выражении, определяющем коэффициент запаса по вторичному напряжению K_3 , вторичное напряжение U_{2M_3} — это напряжение, которое развивает система зажигания в экстремальном тепловом режиме, возможном при эксплуатации в конкретном режиме работы двигателя, с учетом емкостей высоковольтных проводов, наконечника свечи, а также сопротивления $R_{ш}$ слоя нагара на свече. Тепловой режим катушки зажигания нужно учитывать для упомянутых выше характерных точек пускового и рабочего режимов двигателя. Емкость высоковольтных проводов, свечи и ее наконечника (берется суммарная емкость провода, соединяющего катушку зажигания с распределителем; провода, соединяющего распределитель с наиболее удаленной свечой; свечи и ее наконечника для рабочего режима или провода, соединяющего распределитель с наиболее близкой свечой для пускового режима) для четырехцилиндровых двигателей с неэкранированным электрооборудованием обычно составляет 40—50 пФ, для шести-цилиндровых — 60—70 пФ и для восьмицилиндровых — 75—85 пФ. При экранированной системе зажигания эти емкости возрастают примерно вдвое.

Шунтирующее сопротивление в свечах может действовать как короткое (в режиме разгона), так и продолжительное время, особенно при работе на этилированных бензинах. На современных автомобилях шунтирующие резисторы в свечах имеют $R_{ш} \geq 1 \div 3 \text{ МОм}$.

Напряжения U_{2M3} и U_n зависят от n_e , причем законы изменения этих параметров обычно не совпадают, поэтому коэффициент запаса также будет зависеть от n_e : $K_s = U_{2M3}(n_e) / U_n(n_e)$, что при расчетах необходимо учитывать.

5 Работа контактно-транзисторной системы зажигания

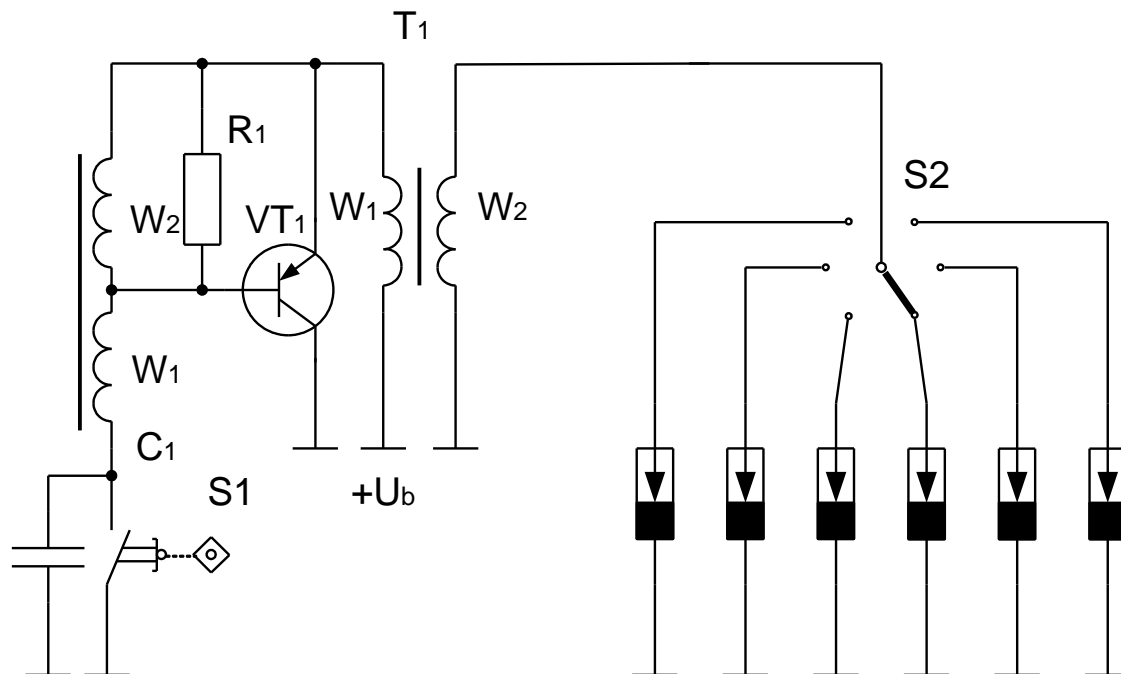


Рисунок 5 – Схема принципиальная контактно-транзисторной системы зажигания

Состоит система зажигания (рисунок 5) из механического прерывателя S_1 , импульсного трансформатора T_1 с двумя обмотками W_1 и W_2 , шунтирующего резистора R_1 , коммутирующего транзистора VT , катушки зажигания T_2 с двумя обмотками W_1 и W_2 , распределителя зажигания S_2 и свечей (на рисунке показана система для двигателя с шестью цилиндрами).

Схема работает следующим образом. Прерыватель S_1 механически связан с коленчатым валом двигателя. При вращении вала кулачок прерывателя периодически замыкает и размыкает контакт S_1 . Во время замкнутого состояния упомянутого контакта ток протекает через первичную обмотку W_1 катушки зажигания, а далее он разветвляется. Большая его часть проходит через эмиттер и коллектор транзистора. Меньшая часть проходит через резистор R_1 и вторичную обмотку W_2 импульсного трансформатора T_1 , далее через первичную обмотку W_1 этого трансформатора и замкнутый контакт прерывателя S_1 . Через первичную обмотку импульсного трансформатора протекает и ток базы транзистора VT . Этот ток поддерживает транзистор в открытом (насыщенном) состоянии.

После размыкания контакта S_1 прерывателя базовый ток и транзистор переходит в состояние отсечки. Ток в первичной обмотке катушки зажигания начинает уменьшаться с большой скоростью. Уменьшение тока, в свою очередь, приводит к изменению магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой W_1 катушки зажигания T_2 . По закону электромагнитной индукции изменение магнитного потока наводит в первичной и вторичной обмотках ЭДС, величина которой зависит от скорости уменьшения магнитного потока и числа витков в обмотках. Так как во

вторичной обмотке витков в несколько сотен раз больше, то и ЭДС в ней достигает 20-25 кВ. Такого напряжения достаточно для пробоя воздушного промежутка в свече и зажигания топливной смеси. Для выбора цилиндра, в котором необходимо поджигать топливную смесь, применяется распределитель зажигания S_2 . Его подвижная часть жестко связана с валом двигателя, что и позволяет при вращении вала выбирать требуемый цилиндр.

Скорость уменьшения потока в магнитной цепи катушки зажигания зависит от времени выключения транзистора VT. В данной схеме сокращение времени выключения достигается применением форсированного запирающего транзистора. С этой целью первичная обмотка W_1 импульсного трансформатора T_1 включена последовательно с контактом прерывателя S_1 , а вторичная W_2 подключена параллельно переходу база-эмиттер транзистора VT. При размыкании контакта S_1 в обмотках W_1 и W_2 трансформатора T_1 наводится ЭДС.

ЭДС вторичной обмотки прикладывается к переходу база-эмиттер транзистора в обратной полярности, сокращая тем самым время жизни не основных носителей зарядов в базе и уменьшая время восстановления большого сопротивления между эмиттером и коллектором транзистора. Запирающее напряжение действует в этой схеме все время, пока на участке между эмиттером и коллектором имеется повышенное напряжение (100-150 В), создаваемое обмоткой W_1 катушки зажигания. Резистор R_1 служит для формирования запирающего импульса определенной величины.

6 Расчёт параметров схемы контактно- транзисторной системы зажигания

Пробивное напряжение свечи определяется по номограммам для трёх случаев (см. пункт 5 «Определение пробивного напряжения свечи»):

1. Пусковой режим при частоте вращения n_c ;
2. Режим разгона двигателя при частоте вращения 800-1000 об/мин.
3. Максимальная частота вращения $n_{e \max}$.

В качестве примера расчета системы рассмотрим случай когда при соответствующих исходных данных получили следующие значения: при пуске двигателя (пусковой режим) при частоте вращения n_c пробивное напряжение $U_n = 11 \text{ кВ}$, в режиме разгона двигателя (частота вращения 800-1000 об/мин) $U_n = 30 \text{ кВ}$, при максимальной частоте вращения $U_n = 34 \text{ кВ}$ (порядок определения пробивного напряжения по номограммам изложен в пункте 5 «Определение пробивного напряжения системы зажигания»).

Принимаем для расчета пробивное напряжение искрового промежутка свечи большее из рассчитанных значений U_n умноженное на коэффициент запаса k_3 .

$$U_{n \max} = U_n \cdot k_3 = 11 \cdot 1,5 = 16,5 \text{ кВ} \quad (1)$$

Коэффициент трансформации катушки зажигания:

$$K = \frac{W_2}{W_1} = \frac{U_{n \max}}{U_{кэ \max} - U_{\delta}}$$

где: W_2 - число витков вторичной обмотки катушки зажигания,

W_1 - число витков первичной обмотки катушки зажигания.

$U_{пmax}$ – максимальное пробивное напряжение искрового промежутка, рассчитанное из выражения (1).

$U_{кэmax}$ - максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора, выбирается из справочных данных для заданного в исходных данных триода.

U_6 – напряжение бортовой сети, задается в исходных данных.

Подставляя значения получаем:

$$K = \frac{16,5 \cdot 10^3}{160 - 14} = 113$$

Время рассасывания неосновных носителей заряда в базе:

$$t_{cn} = \frac{\beta}{2 \cdot \pi \cdot f_m} \cdot \ln \left(\frac{I_{бн} - I_{бр}}{I_{бр}} \right)$$

где: β - коэффициент усиления транзистора (исходные данные);

f_m – граничная частота усиления транзистора (исходные данные);

$I_{бп}$ – ток базы в режиме насыщения (исходные данные);

$I_{бр}$ – ток базы в режиме рассасывания (исходные данные).

$$t_{cn} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 10^3} \ln \left(\frac{0,8 - 0,15}{0,15} \right) = 38 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$$

Емкость конденсатора в первичной обмотке:

$$C_1 = \frac{-I_{кmax} \cdot t_{cn}}{2 \cdot (U_{кэmax} - U_6)}$$

где $I_{кmax}$ – максимально допустимый ток коллектора в момент разрыва для заданного транзистора, берется в пределах (7÷10) А (из справочника);

t_{cn} – время жизни носителей заряда для заданного транзистора;

$U_{кэmax}$ – максимально допустимое напряжение для заданного транзистора;

U_6 – напряжение питания системы.

$$C_1 = \frac{10 \cdot 38 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (160 - 14)} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Эквивалентная емкость первичной цепи катушки зажигания:

$$C_{1э} = C_1 + (C_2 + C_n) \cdot k^2$$

где C_1 – емкость конденсатора в первичной цепи;

C_2 – емкость вторичной обмотки катушки зажигания, выбирается из интервала

$C_n \cong (40 \div 50) \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$;

C_H - емкость вторичной цепи при полностью экранированной системе зажигания, $C_H \cong 180 \cdot 10^{-12}$ Ф, для частично экранированной $C_H \cong 100 \cdot 10^{-12}$ Ф, и для неэкранированной $C_H \cong (50 \div 60) \cdot 10^{-12}$ Ф.

$$C_{1\phi} = 1,3 \cdot 10^{-6} + (45 + 55) \cdot 10^{-12} \cdot 113^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Коэффициент затухания:

$$\gamma = \exp \left[- \frac{\arctg \sqrt{(4 \cdot R_{1\phi}^2 \cdot C_{1\phi} / L_1) - 1}}{\sqrt{(4 \cdot R_{1\phi}^2 \cdot C_{1\phi} / L_1) - 1}} \right] = \exp \left[- \frac{\arctg \sqrt{(4 \cdot 313^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} / 5 \cdot 10^{-3}) - 1}}{\sqrt{(4 \cdot 313^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} / 5 \cdot 10^{-3}) - 1}} \right] = 0,89$$

В данной формуле на первом этапе задаётся индуктивностью первичной обмотки из диапазона $L_1 = (4 \div 6) \cdot 10^{-3}$ Гн.

Приведём сопротивление первичной обмотки:

$$R_{1\phi} = \frac{R_{ш}}{k^2}$$

где $R_{ш}$ - сопротивление нагара, шунтирующее разрядный промежуток свечи выбирается из диапазона, $R_{ш} = (4 \div 8) \cdot 10^6$ Ом;

$$R_{1\phi} = \frac{4 \cdot 10^6}{113^2} = 313 \text{ Ом}$$

Коэффициент, учитывающий, что к моменту возникновения максимального напряжения ток в катушке уменьшается:

$$\alpha = 0,9 \cdot \left[1 - 0,5 \cdot t_{cn} \left(\frac{R_{\Sigma 2}}{k^2 \cdot L_1} + \frac{1}{C_2 \cdot R_{ш}} \right) \right]$$

где t_{cn} - время жизни носителей зарядов (рассчитано ранее);

$R_{\Sigma 2}$ - эквивалентное сопротивление вторичной обмотки и разрядного промежутка выбирается из диапазона $(50 \div 70) \cdot 10^3$ Ом;

C_2 - ёмкость вторичной обмотки (выбрано ранее);

$R_{ш}$ - сопротивление нагара, шунтирующее разрядный промежуток свечи (выбирается ранее).

$$\alpha = 0,9 \cdot \left[1 - 0,5 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \left(\frac{60000}{113^2 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{45 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^6} \right) \right] = 0,79$$

Ожидаемое изменение вторичного напряжения в зависимости от частоты вращения

$$\Delta U = 1 - \exp \left(- \frac{R \cdot \tau_3 \cdot 120}{L_1 \cdot Z \cdot n_{e \max}} \right)$$

где: R_1 - сопротивление первичной цепи с учётом сопротивления транзистора. Выбирается из диапазона $(2 \div 5)$ Ом;

- τ_3 - относительное время замкнутого состояния контактов прерывателя (выбирается из исходных данных);
 L_1 - индуктивность катушки зажигания. Принимается первоначально из диапазона $(3 \div 6) \cdot 10^{-3}$ Гн;
 Z - число цилиндров (берётся из исходных данных);
 $n_{e_{\max}}$ - максимальная частота вращения двигателя (берётся из исходных данных).

$$\Delta U = 1 - \exp\left(-\frac{4 \cdot 0,5 \cdot 120}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 4000}\right) = 0,86$$

Ток разрыва при максимальной частоте вращения

$$I_{p_{\max}} = \frac{U_{n_{\max}}^2 \cdot C_{1\text{э}} \cdot n_{e_{\max}} \cdot Z \cdot [-\ln(1 - \Delta U)]}{U_6 \cdot \tau_3 \cdot (\alpha \cdot \gamma \cdot k)^2 \cdot 120}$$

- где $U_{n_{\max}}$ - максимальное значение напряжения пробоя (рассчитано ранее);
 $C_{1\text{э}}$ - эквивалентная ёмкость первичной цепи (определена ранее);
 $n_{e_{\max}}$ - максимальная частота вращения двигателя (берётся в исходных данных).
 Z - число цилиндров двигателя (дано в исходных данных);
 ΔU - изменение вторичного напряжения (рассчитано ранее);
 U_6 - напряжение источника питания (задано в исходных данных);
 τ_3 - относительное время замкнутого состояния контактов прерывателя (задано в исходных данных);
 α - коэффициент снижения тока (рассчитано ранее);
 γ - коэффициент затухания (рассчитан ранее);
 k - коэффициент трансформации (рассчитан ранее).

$$I_{p_{\max}} = \frac{16,5^2 \cdot 10^6 \cdot 4000 \cdot 6 \cdot [-\ln(1 - 0,86)]}{14 \cdot 0,5 \cdot (0,79 \cdot 0,89 \cdot 113)^2 \cdot 120} = 6A$$

Индуктивность катушки зажигания:

$$L = \frac{-U_6 \cdot \tau_3 \cdot 120}{Z \cdot n_{e_{\max}} \cdot \ln(1 - \Delta U) \cdot I_{p_{\max}}}$$

- где U_6 - напряжение источника питания (дано в исходных данных);
 τ_3 - относительное время замкнутого состояния контактов (исходные данные);
 Z - число цилиндров двигателя (исходные данные);
 $n_{e_{\max}}$ - максимальная частота вращения двигателя (исходные данные);
 ΔU - изменение напряжения (рассчитано ранее);
 $I_{p_{\max}}$ - ток разрыва (рассчитан ранее);

$$L = \frac{-14 \cdot 0,5 \cdot 120}{6 \cdot 4000 \cdot \ln(1 - 0,86) \cdot 6} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Энергия запасаемая в катушке зажигания:

$$W = \frac{L \cdot I_{p \max}^2}{2}$$

где L - индуктивность катушки (рассчитано ранее);

$I_{p \max}$ - ток разрыва - (рассчитан ранее);

$$W = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 6^2}{2} = 52 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

Длительность разряда

$$t_n = \frac{k^2 \cdot L}{R_{\text{э2}}} \cdot \ln \left[1 + \frac{I_{p \max} \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot R_{\text{э2}}}{k \cdot U_n} \right]$$

где: k - коэффициент трансформации катушки зажигания (определен ранее);

$R_{\text{э2}}$ - эквивалентное сопротивление вторичной обмотки и разрядного промежутка (выбрано ранее);

$I_{p \max}$ - ток разрыва (рассчитан ранее);

α - коэффициент уменьшения тока (рассчитан ранее);

γ - коэффициент затухания (рассчитан ранее);

U_n - напряжение на разрядном промежутке выбирается из диапазона 1000-1300 В.

$$t_n = \frac{113^2 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}}{60000} \cdot \ln \left[1 + \frac{6 \cdot 0,79 \cdot 0,89 \cdot 60000}{113 \cdot 10} \right] = 6 \cdot 10^{-4} \text{ сек}$$

Сопротивление вторичной обмотки импульсного трансформатора:

$$R_2 = \frac{\beta^2 \cdot R_n}{0,4 \cdot (\beta + 1)}$$

где: β - коэффициент усиления транзистора (справочные данные);

R_n - сопротивление транзистора в режиме насыщения (справочные данные).

$$R_2 = \frac{10^2 \cdot 0,2}{0,4 \cdot (10 + 1)} = 4,5 \text{ Ом}$$

Ток первичной обмотки импульсного трансформатора:

$$I_1 = \frac{I_{p \max} \left[1 + \frac{R_2}{\beta \cdot R_n} \right]}{1 + \frac{R_2}{\beta \cdot R_n} \cdot (\beta + 1)}$$

где $I_{p\max}$ - максимальный ток разрыва (рассчитан ранее);
 R_2 - сопротивление вторичной обмотки трансформатора (рассчитан ранее);
 β - коэффициент усиления транзистора (справочные данные);
 R_n - сопротивление насыщенного транзистора (справочные данные) .

$$I_1 = \frac{6 \cdot \left[1 + \frac{4,5}{10 \cdot 0,2} \right]}{1 + \frac{4,5}{10 \cdot 0,2} \cdot (10 + 1)} = 0,75 A$$

Ток вторичной обмотки импульсного трансформатора:

$$I_2 = \frac{I_{p\max}}{1 + \frac{R_2}{\beta \cdot R_n} (\beta + 1)}$$

где $I_{p\max}$ - ток разрыва контактов прерывателя (рассчитан ранее);
 R_2 - сопротивление вторичной обмотки трансформатора (рассчитано ранее);
 β - коэффициент усиления транзистора (справочные данные);
 R_n - сопротивление насыщенного транзистора (справочные данные) .

$$I_2 = \frac{6}{1 + \frac{4,5}{10 \cdot 0,2} (10 + 1)} = 0,22 A$$

Коэффициент трансформации импульсного трансформатора:

$$n = \frac{1,2 \cdot I_2}{I_{\text{бз}} - I_2}$$

где I_1 - ток первичной обмотки импульсного трансформатора (определен ранее);
 I_2 - ток вторичной обмотки импульсного трансформатора (определен ранее);
 $I_{\text{бз}}$ - обратный ток базы в режиме зажигания (справочные данные на транзистор).

$$n = \frac{1,2 \cdot 0,75}{0,4 - 0,75} = 5$$

Индуктивность обмотки импульсного трансформатора:

$$L_m = \frac{\frac{U_{\text{бз max}} \cdot t_n}{I_{\text{бз}}} + R_2 \cdot t_{\text{cn}} \ln \left(\frac{U_{\text{бз max}}}{U_{\text{бэмix}}} \right)}{n^2 \cdot \ln \left(\frac{U_{\text{бз max}}}{U_{\text{бэмix}}} \right)}$$

где: $U_{бэ\max}$ – максимально допустимое напряжение между базой эмиттером транзистора (исходные данные на транзистор);
 $t_{и}$ – длительность разряда (рассчитано ранее);
 $I_{бэ}$ – обратный ток базы в режиме запираия (из справочных данных на транзистор);
 R_2 – сопротивление вторичной обмотки импульсного трансформатора (рассчитано ранее);
 $t_{сп}$ – время рассасывания неосновных носителей заряда (определено ранее);
 $U_{бэ\min}$ – минимальное обратное напряжение на базе для запираия транзистора (справочные данные на транзистор);
 $U_{бэ\max}$ – максимальное обратное напряжение на базе (справочные данные на транзистор);
 n – коэффициент трансформации импульсного трансформатора (рассчитано ранее).

$$L_m = \frac{\frac{15 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{0,4} + 4,5 \cdot 38 \cdot 10^{-6} \ln\left(\frac{15}{1,5}\right)}{5^2 \cdot \ln\left(\frac{15}{1,5}\right)} = 0,39 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Приложение А
Параметры транзисторов рекомендуемых для расчета

Параметры транзистора	Обозначение параметра	ГТ701	ГТ810А	КТ816Г	КТ818Г	ГТ806Б	ГТ806В	ГТ806Д	ГТ906	ГТ8132А	ГТ813Б	ГТ813В	2Т818А	2Т825А
Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, В	$U_{КЭmax}$	160	200	100	100	100	120	140	130	100	125	150	100	100
Максимальный ток коллектора, А	$I_{Кmax}$	10	10	6	15	15	15	15	10	30	30	30	10	20
Граничная частота, МГц	f_T	0,06	0,07	3	3	10	10	10	5	0,1	0,1	0,1	3	3
Ток базы в режиме насыщения, А	$I_{Бнас}$	0,8	0,7	0,3	0,9	1	1	1	0,7	2,5	2,5	2,5	1,5	0,06
Ток базы в режиме рассасывания, А	$I_{Бнас}$	0,15	0,12	0,02	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,2	0,15	0,15	0,2	0,01
Коэффициент усиления	β	10	15	20	15	20	22	25	30	15	20	30	20	500
Сопротивление в насыщенном состоянии	R_H	0,2	0,3	0,7	0,15	0,1	0,1	0,1	0,12	0,05	0,05	0,05	0,2	0,2
Максимально допустимое обратное напряжение на базе, В	$U_{БЭmax}$	15	1,4	5	5	2	2	1,5	1,4	2	2	2	5	5
Обратный ток базы, А	$I_{Бз}$	0,4	0,4	0,1	0,5	0,4	0,35	0,3	0,4	0,5	0,5	0,35	0,4	0,02
Минимальное напряжение базы для запираания транзистора, В	$U_{БЭmin}$	1,5	1,4	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1	1

Приложение В

Рекомендуемый примерный план курсовой работы

Задание

Параметры используемого транзистора

Аннотация

Содержание

Введение

1 Системы зажигания, требования к современным системам зажигания

2 Определение пробивного напряжения системы зажигания по заданным исходным данным и коэффициента запаса по вторичному напряжению

3 Описание принципиальной схемы и принципа работы-контактно транзисторной системы зажигания

4 Расчет параметров элементов схемы

Заключение

Список используемых источников

Примечание:

Рисунки и номограммы рекомендуется располагать по тексту пояснительной записки