|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ Электрическая цепь – совокупность устройств, предназначенных для протекания электрического тока, электро-магнитные процессы в которых могут описаны с помощью понятий ток и напряжение. Схема электрической цепи: источник эл. энергии 🡪 промежуточные устройства 🡪 приемник электрической энергии. Источник электрической энергии – любое устройство, предназначенная для преобразования любого вида энергии в электрическую. Приемник электрической энергии – устройство для преобразования электрической энергии в другой лбой вид энергии. Промежуточные устройства – соединительные провода, фильтры, усилители и т.д. Любая электрическая цепь состоит из элементов, которые можно разделить на активные – источники и пассивные – резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы, ПП-приборы и т.д. Под расчетом цепи понимается расчет тока в первую очередь.  ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ  Электрический ток – упорядоченное движение электрических зарядов. Обозначение: i, I, i(t)=i=dq/dt, i – мгновенное значение тока,  единицы измерения [A] амперы. Положительное направление  тока задается произвольно, если со знаком “-“, то направление  другое. Электрическое напряжение: u, U; u – мгновенное  значение. U12=φ1 – φ2 [В] вольты. Направление падающего  потока – от 1 кг. U21=φ2 – φ1= - U12 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ dω=udq=U i dt 🡨 элементарная работа и элементарнаяэнергия.  p=dω/dt – мгновенная мощность, скорость излучения энергии измеряется в [Вт] ватах. p=U i >=< 0, если p>0, то поток энергии направлен к данному участку. Если P< 0, то от него, если p=0, то стоит.  (см. рисунок) В противоположном направлении напряжение и  ток. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА Это графическое изображение электрической цепи. Схема замещения – это схема, в которой реальные элементы электрических цепей представляются с помощью идеализированных элементов: 1) сопротивление, 2) индуктивность, 3) емкость, 4) взаимная индуктивность, 5) идеальный источник ЭДС, 6) идеальный источник тока.  (1) Сопротивление – это идеализированный элемент электрической  цепи, приближенно заменяющий резистор для преобразования  электрической энергии в тепловую. R[Ом] омы.  Вольт-амперная характеристика, см. рисунок🡪  U(индекс R)=f (i); U(инд.R)=R(i)\*i; R=const,  R≠f (i); U(идн. R)=R\*i – закон Ома. P(инд.R)=  =U(инд.R)\*i=R\*i(c.2)>0 – линейная мощность  на сопротивлении больше нуля, т.к. на сопротивлении энергия только потребляется. Характеристика обратная сопротивлению: G=1/R[Ом(с.-1)]=  =[См] – сименсы. (2) Индуктивность – это идеальный элемент, замяющий реальную катушку индуктивности и отражающий факт накопления энергии магнитного поля на данном участке цепи.  L[Гн] Генри. Вольт-амперная харктеристика на  рисунке справа. ψ=f(i), ψ=wФ; w – число витков  на единицу потокосцепления. ψ=L(i)i для линейного  участка: ψ=L\*i; e (и. L)= - w dФ/dt= - dФ/dt;  U(и. L)= - e (и. L)=L di/dt; P (и. L)=U(и. L)\* L=L i di/dt >< 0. W – энергия магнитного поля, которое накапливается на индуктивностию,  Wм =∫[-∞; t] P(и. L)dt=∫[-∞; t]L i di/dt=L i (c.2)/2; L(-∞)=0. Если часть магнитного потока, связанного с одним магнитным элементом одновременно связана с другим, то эти 2 индуктивных элемента, кроме параметров L1 и L2 обладают еще и параметром M, называемой взаимной индуктивностью. M[Гн] генри, он обозначает не какой-то отдельный элемент цепи, а связь между 2-мя элементами.  3) Емкость – это идеализированный элмент электрической цепи приближенно заменяющий конденсатор и отражающий  факт наполнения энергии электрического поля.  q=C(U)\*U для линейного участка, q=CU. i=dq/dt;  i=C dU/dt; Uc=1/C ∫[-∞; t]idt=Uc(0) + 1/C ∫[0; t]idt;  Uc(0)=1/C ∫[- ∞;0]idt; Pc=Uc \* i=C Uc dUc/dt ><0; Wэ=∫[-∞; t]Pc dt=∫[0; t]C \* \* Uc dUc=C Uc(c.2)/2; Uc(-∞)=0.  4) Источник ЭДС. Идеальный источник ЭДС – это активный элемент с двумя выводами, напряжение на которых не зависит от протекающего через источник тока. Внутри идеального источника ЭДС отсутствуют пассивные элементы. (Rвн=0), поэтому прохождение тока не вызывает падение напряжения. Реальный источник имеет  внутреннее сопротивление Rвн.  U21=U31 – U32=E – RI;  i = (E – U21)/Rвн. = (U12 + E)/Rвн. –  обобщенный закон Ома для участка  цепи. Воль-амперная характеристика на рисунке --🡪.  5) Мгновенная мощность – p(t)=U21\*i;  Идеальный источник – p(t)=E i>0, реальный – p(t)=E i Rвн.\*  \*i(c.2)><0.  6) Источник тока. Идеальный источник тока – это  активный элемент, ток которого не зависит от приложенного напряжения. Внутреннее сопротивление идеального источника тока бесконечно велико (Rвн=∞), поэтому параметры внешней цепи не влияют на ток источника.  J – ток источника тока.  Реальный источник тока  обладает сопротивлением  или не нулевой проводи-  мостью. Gвн –  проводимость внутр.  Gвн=1/Rвн; i=J – i (и. G); i=J – U21 Gвн = J – U21/Rвн; если J=E/Rвн,  i=(E – U21)/Rвн. Совпадение вольт-амперной характеристики источника тока и ЭДС говорит об эквивалентности этих источников. Один и тот же реальный источник электрической энергии на схеме замещения может быть представлен как в виде реального источника ЭДС, так и в виде реального источника тока. ТОПОГРАФИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ Геометрическими элементами электрической схемы являются ветви, узлы, контура. Ветвь образуется одним или несколько последовательно соединенными элементами электрической схемы (нарисовать). Узел – место соединения 3-х и более ветвей (нарисовать пример). Любой путь (замкнутый) проходящий по нескольким ветвям называется замкнутым контуром (нарисовать). ЗАКОНЫ КИРХГОФА 1) Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.  i1 – i2 + i3 – i4 =0, i1 + i3 = i2 + i4;  2) Алгебраическая сумма падений напряжений в  замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС  в этом контуре R1 i1 – L2 di2/dt – R4 i4=E1 – E3 – E4.  2-я формулировка: алгебраическая сумма напряжений  в замкнутом контуре равна нулю R1i1 – E1 –  - L2 di2/dt + E3 + E4 – R4i4=0.  МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА  **ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА И ОБОЗНАЧЕНИЯ**  I≠f(t) ток не меняется с течением  времени, U, E, J }≠f(t).  При расчете цепей постоянного  тока участки с индуктивностью  закорачиваются, участки с емкостью  размыкаются. МЕТОД КИРХГОФА Дано: Rk, k=1÷6, Ej, J6, найти: Ik. По 1-му  закону Кирхгофа составляется количество  уравнений раное числу узлов.  1) I1 – I4 – I6 = 0, 2) I2 + I4 – I5 =0,  3) – I3 + I5 +I6 =0. Уравнение по второму  закону Кирхгофа составляется для  нехависимых контуров не содержащих  источников тока. Независимые контура  отделяются друг от друга хотя бы 1-ой новой ветвью. Для контура с источником тока 2-е уравнение кирхгофа составить нельзя, т.к. R=∞.  4) I: R1 I1 – R2 I3 + R4 I4 = E1 – E2 – E4; 5) II: R2 I2 + (R3’ + R3’’) I3 +  + R5 I5 = E2 – E5; I6=J6. Решая систему находим все токи. Достоинства: универсальность, пригоден для расчета абсолютно всех электрических цепец. Недостаток: трудоемкость. | МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ Рисунок смотри выше. В МКТ в качестве неизвестных выступают контурные токи, это абстракные величины; контурные токи замыкаются по независимым контурам. Причем если в схеме есть источник тока, то через каждый источник замыкается по 1-му контурному току, величина которых в дальнейшем считается известной и равной токам источников. I33=J6. Выразим токи в ветвях через контурные токи, для этого I1=I11, I2=I22-I11, I3=I22, I4=I11-I33, I5=I22-I33}. Подставим это в уравнение состояний по 2-му закону Кирхгофа и сгруппируем слагаемые {(R1+R2+R4)I11-R2I22-  -R4I33=E1-E2-E4, -R2I11+(R2+R3’+R3’’+R5)I22-R5I33=E2-E5, I33=J6}. Полученная система называется системой контурных уравнение. Можно представить в формализованном виде. {R11I11+R12I22+R13I33=E11,  R21I11+R22I22+R23I33=E22, I33=J6}; Rkk – контурное сопротивление, оно равно сумме всех сопротивлений входящих в данный контур, R11=R4+R1+R2, R22=R5+R3’+R3’’; Rkj – сопротивление ветвей общих для k-го и j-го контуров. Rkj со знаком +, если направление k-го и j-го контурных токов через эту ветвь совпадают, и -, если нет; Rkj=Rjk;  R12=R21= -R2, R13= -R4, R23= - R5; Ekk – контурное ЭДС равное сумме ЭДС контура; E11=E1-E2-E4; E22=E2-E5. Найденные контурные токи подставляются в первоначальную систему и находятся все токи.  МЕТОД УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ (МУП)  Рисунок выше. В методе МУП в качестве неизвестных выступают потенциалы узлов. Далее зная потенциалы составляют закон Ома для обобщенной ветви и находятся токи в ветвях. Количество уравнений в МУП равно количеству уравнений составленных по 1-му закону Кирхгофа. φ1, φ2, φ3. Потенциал 4-го узла φ4=0. Заземлить можно любой узел. Выразим токи в ветвях через закон Ома для обобщенной цепи: {I1=φ4-φ1+E1 /R1; I2=φ4-φ2+E2 /R2; I3=φ3-φ4 /R3’+R3’’; I4=φ1-φ2-E4 /R4; I5=φ2-φ3-E5 /R5}.  Подставим это в уравнение состояния по 1-му закону Киргофа и сгруппируем слагаемые. {φ1(1/R1+1/R4} – φ2(1/R4) – φ3\*0=E1/R1+E4/R4 –  - J6; -φ1(1/R4) + φ4(1/R2+1/R4+1/R5) – φ3(1/R5) = E2/R2 – E4/R4 + E5/R5;  φ1\*0 – φ2(1/R5) + φ3(1/(R3’+R3’’) +1/R5)= -E5/R5 + J6;};  {φ1G11+φ2G12+φ3G13=J11; φ1G21+φ2G22+φ3G23=J22; φ1G31+φ2G32+  +φ3G33=J33}; Gkk – узловая проводимость в соответствующих узлах. Она равна сумме проводимостей всех ветвей, подключенных к к-ому узлу.  Отношение 1/R ветви с источником тока будет равно нулю, т.к. R= ∞.  G11=1/R1 + 1/R4; G22=1/R2 + 1/R4 + 1/R5; G33=1/(R3’+R3’’) + 1/R5;  Gkj – проводимость ветвей общих для к-го и j-го узлов (всегда со знаком “-”). G12=G21= -1/R4; G13=G31=0; G23=G32= -1/R5. Если между 2-мя узлами отсутствует ветвь напрямую их соединяющая, то общая проводимость равна нулю. Узловой ток к-ого узла равный алгебраической сумме токов источников тока подключенных к к-му узлу токов, получаемых отделением ЭДС на сопротивление ветвей подключенных к к-му узлу.  I11 = E1/R1 + E4/R4 – J6; J22 = E2/R2 – E4/R4 + E5/R5; J33 = - E5/R5 + J6;  Частный случай: Если между к-м и j-м узлом включено идеальное ЭДС, то уравнения узловых потенциалов для этих узлов не составляются., φj – φk=E. Часто заземляют один из этих узлов, тогда уравнения принимают вид φk=0, φj=E.  МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ. ПРИНЦИП НАЛОЖЕНИЯ.  Рисунок выше, там где метод кирхгофа.  Ikk=(1/∆) \*Σii ∆ik; I11=I1=(1/∆)\*{(E1-E2-E4+R4J6)\*∆11 – (E2-  -E5+R5J6)∆12}=(1/∆)\*{E1R22 – E2(R22+R21)+E4R22+E5R21+J6(R4R22-  -R5R21)}. – математическая запись принципа наложения для тока I1.  ПРИНЦИП НАЛОЖЕНИЯ (для линейных цепей): если в цепи действует несколько источников, то ток в каждой ветви будет равен алгебраической сумме частичных токов, создаваемых каждым источником в отдельности.  АЛГОРИТМ МЕТОДА НАЛОЖЕНИЯ: 1) устраняются все исотчники кроме одного, при этом источники ЭДС закарачиваются, источники тока размыкаются, 2) определяются чатичные токи во всех ветвях, создаваемые данным источником, 3) исключается рассмотренный источник, подключается следующий, определяются частичные токи, создаваемые данным источником, 4) определяются истинные токи в ветвях как алгебраическая сумма частичных токов Ik=Ik’+Ik’’+Ik’’’+…+Ik(c.n), n – число источников. Метод неудобен для расчета цепей с большим количеством источников и неприемлен  для расчета нелинейных цепей, но  незаменим при расчете цепей  несинусоидального тока.  ФОРМУЛА РАЗБРОСА ТОКОВ  (см. рисунок).  ПОНЯТИЕ О ВХОДНЫХ И ВЗАИМНЫХ ПРОВОДИМОСТЯХ.  Рассмотрим сполошную пассивную цепь, выделим в ней  к-ю ветвь, в которую подключим источник Ek. Если  через к-ю и m-ю ветвь цепь замыкается только  один контурный ток, то выражения для токов будут:  Ik=Ek ∆kk / ∆ = Ek Gkk; Im=Ek ∆km / ∆ = Ek Gkm.  Взаимная проводимость к-й и m-й цепи:  Gkm=Im/Ek=∆km/∆ (величина определяется экспериментально).  Она зависит от параметров цепи, но может быть и определена экспериментально. Только путем измерения тока в пассивной цепи, создаваемого единственной ЭДС включенной в к-ю ветвь. Gkm=Gmk т.к. ∆km=∆mk. ПРИНЦИП ВЗАИМНОСТИ Im=Ek\*Gkm; Ik=Em\*Gmk;  Если Em=Ek, то Ik=Im. ТЕОРЕМА КОМПЕНСАЦИИ В любой электрической цепи без изменения токораспределения сопротивление можно заменить ЭДС, численно равной падению напряжения на заменяемом сопротивлении и направленной встречно току в этом сопротивлении. Док-во: выделим из схемы одну ветвь (R Ом, I A), а всю остальную часть схемы обозначим прямоугольником. Если в выделенную ветвь включить две одинаковых и противоположно направленных ЭДС, численно равных падению напряжения на R под действием тока I (E=IR), то ток I в цепи от этого не изменится. Разность потенциалов между точками a и с будет равна нулю: φc=φa – IR + E =  =φa – IR + IR = φa. Если так, то точки a и c объединить в одну, т.е. закоротить участок ас. И получим схему – см. рисунок (кстати  рисунок с сопротивлением рисуйте сами).  ТЕОРЕМА ВАРИАЦИЙ (изменения токов ветвей, вызванные приращением сопротивления  одной ветви).  Возьмем такую цепь как на  первом рисунке, проводимости  g12 и g22 полагаем известными.  Пусть сопротивление ветви 2 изменилось на ∆R, токи станут I1+∆I1 и  I2+∆I2. По теореме компенсации заменим ∆R на ЭДС. ∆Е=∆R(I2+∆I2),  направленную встречно току I2. На основании принципа наложения можно сказать, что приращения токов ∆I1 и ∆I2 вызваны ЭДС ∆Е, а часть схемы в прямоугольнике стала пассивной. Т.к. сумма внутренних соединений и значения сопротивлений в схеме остались без изменений, то проводимости g12 и g22 также не меняются. ∆I1=-∆E g21 = -g21∆R(I2+∆I2);  ∆I2= -∆E g22 = -g22∆R(I2+∆I2); ∆I2= -g22∆RI2/(1+∆R g22); ∆I1=  = -g21∆RI2/(1+∆Rg22). Эти соотношения позволяют определить изменение токов в ветвях 1 и 2, вызванные изменениям сопротивления в ветви 2.  МЕТОД ДВУХ УЗЛОВ  Рассмотрим схему, содержащую всего 2 узла.  Под методом двух узлов понимают метод расчета  электрических цепей, в котором за искомое принимают напряжение между двумя узлами схемы. In=(En – Uab)gn. Ток к узлу а и b  не подтекает. Поэтому если принять I=0, то  Uab=(ΣEk gk + ΣIk)/Σgk – напряжение. После этого можно найти ток в любой ветви: In=(En – Uab)gn.  ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗВЕЗДЫ В ТРЕУГОЛЬНИК И ОБРАТНО.  Соединение 3-х сопротивлений,  имеющие вид трелучевой звезды  называется соединением ЗВЕЗДА, а  соединение 3-х сопротивлений так,  что они образуют собой стороны  треугольника – соединением  ТРЕУГОЛЬНИК. Если преобразование  выполнить так, что при одинаковых  значениях потенциалов одноименных  точек треугольника и звезды подтекающие к этим точкам токи одинаковы, то вся внешняя схема не заметит замены. Для звезды: I1+I2+I3=0,  I1=(φ1-φ0)g1; I2=(φ2-φ0)g2; I3=(φ3-φ0)g3. Подставим: φ1g1+φ2g2+φ3g3-  -φ0(g1+g2+g3)=0; φ0=(φ1g1+φ2g2+φ3g3)/(g1+g2+g3); Теперь введем φ0 в выражение для тока I1=(φ1(g2+g3)-φ2g2-φ3g3)g1/(g1+g2+g3); | Для треугольника: I1=I12-I31=(φ1-φ2)g12 – (φ3-φ1)g13=φ1(g12+g13) –  - φ3g13 – φ2g12. Т.к. токи с одинаковыми индексами равны на обеих схемах при любых потенциалах, то φ2, φ3 тоже не меняется. Значит:  g12=g1g2/(g1+g2+g3); g13=g1g3/(g1+g2+g3); g23=g2g3/(g1+g2+g3). Выразим сопротивления: R=1/g;  R12= [ (1/R1)+(1/R2)+(1/R3) ]/[ (1/R1)\*(1/R2)] = m/R3, где m=R1R2+  +R2R3+R3R1; R23=m/R1; R13=m/R2; Подставим: m=m(c.2)\*  \*((1/R23R13)+(1/R13R12)+(1/R12R23))=m(c.2)\*(R12+R23+R31)/R12R23R13;  m=R12R23R31/(R12+R23+R31); R1=R12R31/(R12+R23+R31);  R2=R23R12/(R12+R23+R31); R3=R13R23/(R12+R23+R31). МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА теорема об эквивалентном генераторе: Если в  сложной цепи выделить 1 ветвь, то всю оставшуюся  часть цепи можно представуить эквивалентным  генератором с двумя параметрами: Eэг и Rвн, где  Eэг=Uxx, а Rвн=Rвхab. a, b – зажимы, к которым  подключена выделенная ветвь. На рисунке  показано, как определить ток I4 в ветви, там где  вместо ветви Uxx. Сначало определим потенциалы 1-го и 2-го узлов в отсутствии ветви с сопротивлением R4. Это делаем как в методе узловых потенциалов, только выкидываем сопротивление R4, придется опять ебаться с этим методом Гаусса, так что лучше один узел иметь заземленным. Uxx = φ1 – φ2; Теперь нужно знать входное сопротивление  Rвх = R13 + [ (R23 + R5) (R12 + R6) / (R23 + R5 + R12 + R6) ]  Находим теперь ток I4 = Uxx / (Rвн + R4); здесь E ветви = 0, т.к. в первоначальной схеме на ветви нету источников ЭДС.  АЛГОРИТМ МЕТОДА: 1. разомкнуть интересующую нас ветвь. 2. любым методом определить Uxx на зажимах разомкнутой ветви. 3. определить Rвходное, предварительно устранив все источники ЭДС (закарачиваются) и источники тока (размыкаются). I=(Uxx+E)/(Rвх+R). 4. определить ток по закону Ома для полной цепи. Если в интересующей нас ветви есть источники ЭДС, то они учитываются. РАЗНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА I1=(φ1 – φb + E1)/R1; I2=(φc – φb)/R2;  I3=(φc – φa – E3)/R3; I4=I3-I1; I5=I1+I2; I6=I2+I3;  Теперь надо построить потенциальную диаграмму.  Для этого обходим контур с точки а и т.д. и  пока снова в а не прийдем.  И отмечаем по оси OY потенциалы узлов или  точек чтоли :), ну и короче по OX ставим R,  причем надо прибавлять следующее сопротивление к последующему (однако потенуиалы складывать ненужно!), таким образом обходим весь контур и получаем потенциальную диаграмму, строим график, отмечаем там полученные точки названиями узлом. φd=φa+E1; φf=φc – E3. СОСТАВЛЕНИЕ БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ Электрическая мощность, потребляемая всеми приемниками цепи, равна  электрической мощности, генерируемой всеми источниками.  Вообщем чтобы муть не разводить, вот конкретный пример из моей расчетки, как и че делать, подгоняйте сами под свою задачу:  ΣPист = E5 I5 + E6 I6 + Ek3 I2; ΣPпр = R1 I12 + R2 I22 + R3 I32 + R4 I42 +  + R5 I52 + R6 I62; ΣPист = ΣPпр.  МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.  **АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**  **ВИД ВРЕМЕННОЙ ДИАГРАММЫ**  x(t) – мгновенное значение сигнала,  x(t): {i(t)A, U(t)В, P(t)Вт; Xm – амплитуда  гармонического сигнала (всегда >0). T – период(с)  f=1/T [Гц][c(c.-1)] – циклическая частота.  ω=2πf[рад/с][c(c.-1)] Круговая частота, f=50Гц,  ω=312рад/с, X(t)=Xm\*sin(ωt+ψx);  ψx – начальная фаза сигнала [град][рад] (может быть разной);  ωt+ψx – фаза сигнала. Величина ψx зависит от точки отсчета, ψх<=360градусов, т.O2 – ψx=360 |ψx2|, т. O2 – ψx<0 |ψx3|, т. О2 – ψx=0,  т. O3 – ψx>0  СРЕДНЕЕ И ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА (ТОКА).  В математике Fср=(1/T)\*∫[0 – T]f(t)dt. В электротехнике под средним значением понимают среднее значение за половину периода:  Iср=(1/(T/2))\*∫[0 – T/2]Im sinωtdt=(2Im/Tω)\*(cosωt) |[0 – T/2]=  =|ω=2πf=2π/T, ωT=2π|=(2Im/2π)\*(cos0 – cosπ)=2Im/π=0,637Im, где Im – это амплитудное значение тока. Uср=0,637Um. Действующее значение гармонического тока равно такой величине постоянного тока, которая по своему тепловому воздействию на проводник эквивалентно данному гармоническому току. Действующее значение тока: I=√(1/T)\*∫[0-T]i(c.2)dt=  =√(1/T)\*∫[0 – T] Im(c.2)\*sin(c.2)ωtdt=Im/√2`; I=Im/√2=0,707Im, U=Um/√2=  =0,707Um. ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ P(t)=U(t)\*i(t)=Um\*sin(ωt+ψu)\*Im\*sin(ωt+ψi)=(UmIm/2)\*(cos(ψu - ψi) –  - cos(2ωt+ψu+ψi))=UI(cosφ + cos(2ωt+ψu+ψi)); **φ=ψu – ψi** – сдвиг по фазе.  СОПРОТИВЛЕНИЕ, ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ В ЦЕПЯХ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.  1) i(t)=Im sin(ωt+ψi); U(индекс R)(t)=R i(t)=Rim sin(ωt+ψi)=  =Um sin(ωt+ψu); Um=RIm; φ=ψu – ψi=0; P(инд.R)=  =UI(cosφ-cos(2ωt+ψu+ψi))=UI(1-cos(2ωt+2ψi));  0≤P(инд.R)(t)≤2UI;  2) i(t)=Imsin(ωt+ψi); U(инд.L)=Ldi/dt=ωLImcos(ωt+ψi)=ωLImsin(ωt+ψi+π/2);  Um=ωLIm; ψu=ψi+π/2; Um/Im=ωL=X(инд.L) [Ом] – индуктивное сопротивление. Im/Um=1/ωL=B(индексL) [См] индуктивная проводимость.  P(индекс L)(t)=UI(cosφ – cos(2ωt+ψu+ψi))= -UI(cos(2ωt+2ψi+π/2);  P(инд.L)>0 то |i1| направлен вверх, P(инд.L)<0 то |i2| направлен вниз. Индуктивность является реактивном элементом, четверть периода накапливает энергию, четверть периода – отдает.  3) U(t)=Um sin(ωt+ψu); i(t)=CdU/dt=ωCUm cos(ωt+ψu)=  =ωCUm sin(ωt+ψu+π/2)=Im sin(ωt+ψi); Im=ωCUm; ψi=ψu+π/2; φ=ψu-ψi=π/2;  Um/Im=1/ωC=Xc [Ом] емкостное сопротивление, Im/Um=ωC=Bc [Ом] емкостная проводимость. Pc(t)=UI(cosφ – cos(2ωt+ψu+ψi))=  = - UI cos(2ωt+2ψi – π/2); Pc>0, |Uc| направлено вверх, Pc<0, |Uc| направлено вниз. Емкость тоже реактивный элемент, ¼ T накапливает, ¼ T отдает.  **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ R, L, C**  i(t)=Im sin(ωt+ψi); U(t)=U(инд.R)+U(инд.L)+Uc=  =RIm sin(ωt+ψ0)+ωLIm sin(ωt+ψi+π/2)+  +(1/ωC)\*Im\*sin(ωt+ψi – π/2)=Um sin(ωt+ψu).  Пусть ψi=0 тогда ψu=φ;  1) момент времени ωt=0; (ωL – 1/ωC)Im=Um sinφ (1)  2) ωt=π/2; RIm Umcosφ (2). Возведем выражения (1) и  (2) в квадрат и сложим их: (R(c.2)+(ωL – 1/ωC)(c.2))\*  \*Im(c.2)=Um(c.2); Um/Im=√R(c.2)+(ωL – 1/ωC)(c.2)`=Z [Ом] – полное сопротивление участка цепи; ωL - 1/ωC = X(инд.L) – Xc=X[Ом] – реактивное сопротивление цепи. Z=√R(c.2)+X(c.2)`; Um=ZIm; U=ZI;  Разделим (1) на (2): tgφ=(ωL – 1/ωC)/R; φ=arctg[(ωL – 1/ωC)/R]=arctgX/R;  - π/2 ≤φ≤π/2. Если φ>0, ωL>1/ωC – индуктивный характер цепи;  Если φ<0, ωL<1/ωC – емкостный характер цепи, Если φ=0, ωL=1/ωC – цепь носит активный характер. P(t)=UI (cosφ – cos(2ωt+ψi+ψu)); cosφ>0,  - π/2 ≤ φ ≤ π/2 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ R, L, C U(t)=U(инд.m)sin(ωt+ψ(инд.u)), ψ(инд.u)=0, i(t)-?  i(t)=i(инд.R)+i(инд.L)+i(инд.C) = GU(инд.m)sinωt +  + (1/ωL)\*U(инд.m)sin(ωt – π/2) +  + ωCU(инд.m)sin(ωt+π/2) = I(инд.m)sin(ωt+ψ(инд.i))=  =I(инд.m)sin(ωt-φ). Проделав операции аналогичные проделанным для последовательного соединения, получим следующие соотношения: |
| I(инд.m)/U(инд.m)=√G(c.2)+((1/ωL)+ωC)(c.2)`=Y – полная проводимость [измеряется в См – сименсы] участка цепи. Y=√G(c.2)+(B(инд.L)+B(инд.С))(с.2)`=√G(c.2)+B(c.2)`  B=B(инд.L) – B(инд.C)=1/ωL - ωC – реактивная проводимость участка цепи, измеряется в сименсах. G – активная проводимость.  Y=arctg(1/ωL - ωC)/G=arctg(B(инд.L)-B(инд.С))/G=arctgB/G;  -π/2≤φ≤π/2 МОЩНОСТЬ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА p(t)=UI(cosφ-cos(2ωt+2ψ(инд.i)+φ) Активная мощность равна среднему знчению мгновенной мощности за период. P – активная мощность =  =(1/T)\*∫[0-t] UI(cosφ-cos(2ωt+2ψ(инд.i)+φ))dt=Uicosφ+0; P=UIcosφ[Вт]  Активная мощность – характеризует полезную работу совершаемую электрическим током в приемнике. 0≤cosφ≤1; -π/2≤φ≤π/2; cosφ – коэффициент мощности. S=UI [ВольтАмперы] – полная мощность. Характеризует максимальную мощность, которая может быть передана от источника к приемнику. P=Scosφ; Q=Uisinφ[ВА] – реактивная мощность – характеризует часть энергии, которая с течением четверти периода передается в приемник, а другой возвращается к источнику.  S=UI=I(c.2)Z=U(c.2)Y=√P(c.2)+Q(c.2)`; P=Scosφ=Uicosφ=I(c.2)P=U(c.2)G;  Q=Ssinφ=Uisinφ=I(c.2)X=U(c.2)B  ИЗОБРАЖЕНИЕ ПЕРИОДИЧСКИХ ПРОЦЕССОВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ВЕКТОРАМИ НА ПЛОСКОСТИ  Суть комплексного (символьного) метода расчета цепи синусоидального тока заключается в переносе решения из области действительного переменного в область комплексного переменного jω. Что предполагает замену синусоидальных функций времени комплексными числами, i – ток, j – мнимая единица. Å=a+jb; Å=Ae(c.jα) – показательная форма  записи числа. A=√a(c.2)+b(c.2)`; α=arctgb/a; a=Acosα;  b=Asinα; Å=Acosα+jAsinα; α=ωt+ψ; Å=Acos(ωt+ψ)+  +jAsin(ωt+ψ); Å=Ae(c.j(ωt+ψ))=A(.)e(c.jωt), где A(.)=Ae(c.jψ)  A(.) – комплексная амплитуда.  b(t)=Asin(ωt+ψ)=b(t)=A(.)e(c.jωt)=Ae(c.jψ)e(c.ωt);  В любой синусоиде можно однозначно поставить соответственное комплексное число A(.)=Ae(c.jψ), причем модуль комплексного числа равен амплитуде синусоиды, а аргумент ее начальной фазе.  i(t)=I(инд.m)sin(ωt+ψ(инд.i))=I(.)(инд.m) – комплексная амплитуда тока равна I(инд.m)e(c.jψ(инд.i)); u(t)=U(инд.m)sin(ωt+ψ(инд.u))=U(.)(инд.m)=  =U(инд.m)e(c.jψ(инд.u)). Комплекс действующего значения: I(.)=Ie(c.jψ(инд.i)=I(инд.m)e(c.jψ(инд.i))/√2`=I(.)(инд.m)/√2`; U(.)=Ue(c.jψ(инд.u));  **КОМПЛЕКСНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА R L C.**  1) I(.)=Ie(c.jψ); U(.)=Ue(c.jψ) -?; U(инд.R)=RI; ψ(инд.u)=ψ(инд.i); φ=0;  U(инд.R)=RIe(c.jψ(инд.i))=RI(.), 2) I(.)=Ie(c.jψ(инд.(i)); U(.)(инд.L)=  =U(инд.L)e(c.jψ(инд.u)); U(инд.L)=ωLI; ψ(инд.u)=ψ(инд.i)+π/2;  U(.)(инд.L)=ωLIe(c.j(ψ+π/2)); e(c.jα)=cosα+jsinα; φ=π/2;  e(c.jπ/2)=cosπ/2 + jsinπ/2 =j; e(c.jπ/2)=j – показательная форма.  U(.)(инд.L)=ωLIe(c.j(ψ+π/2))=jωLIe(c.jψ(инд.i))=jωLI(.);  3) I(.)=Ie(c.jψ(инд.i)); U(инд.с)=(1/ωC)\*I; ψ(инд.u)=ψ(инд.i)-π/2; φ=-π/2; U(.)(инд.c)=(1/ωC)\*Ie(c.j(ψ(инд.i)-π/2))=-j\*(1/ωC)\*Ie(c.jψ(инд.i))=  = -j\*(1/ωC)I(.). ЗАКОН КИРХГОФА И ОМА В КОМПЛЕКСНОЙ ФОРМЕ 1 закон Кирхгофа: Σi(инд.k)=0; i(t)(инд.k)=I(инд.mk)sin(ωt+ψ(инд.k))=  =I(.)(инд.k)=Ie(c.jψ(инд.i)); ΣI(.)(инд.k)=0.  2 закон Кирхгофа: ΣE(.)(инд.k)=ΣU(инд.k); e(инд.k)=E(.)(инд.k)=E(инд.k)e(c.jψ(инд.e)); U(инд.k)=U(.)(инд.k);  ΣE(.)(инд.k)=ΣU(.)(инд.k).  (1)Закон Ома,  последовательное  соединение R, L, C:  U(.)=U(.)(инд.R)+  +U(.)(инд.L)+  +U(.)(инд.C)=  =I(.)(R+jωL – j(1/ ωC))  Z=U(.)/I(.)=R+j(ωL – 1/ωC)=  =R+j(X(инд.L)+X(инд.C)=  =R+jX=√R(c.2)+X(c.2)`  R=Re[ Z ]; X=Im[ Z ]; U(.)=U(.)(инд.R)+(U(.)(инд.L)+U(.)(инд.C))  U(.)(инд.R)=RI(.)=Re[U(.)]; U(.)(инд.L)+U(.)(инд.C)=(ωL – 1/ωC)I(.)=  =Im[U(.)]; U(.)=ZI(.)  (2)Параллельное соединение R, L, C: I(.)=I(.)(инд.R)+I(.)(инд.L)+I(.)(инд.C)=  =GU(.) + (1/jωL)U(.) + jωCU(.) = U(.)(G – j(1/ωL – ωC));  I(.)/U(.)=Y=G – j(1/ωL - ωC)=G – j(B(инд.L) - B(инд.C))=G-jB=  =√G(c.2)+B(c.2`e(c. –jarctgB/G)=Ye(c.-jφ); Y=1/Z ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДВУХПОЛЮСНИК Z=1/Y=R+jX(инд.L)=(1/(G -jB(инд.L)) )\*[(G+jB(инд.L))/ (G+jB(инд.L))]=  =(G+jB(инд.L))/(G(c.2)+B(инд.L)(c.2)); R=G/(G(c.2)+B(инд.L)(c.2))=G/Y(c.2); X=B/(G(c.2)+B(c.2))  В случае параллельного соединения: Y=1/Z=(1/ (R+jX))\*(R -jX)/(R –jX)=  =G –jB; G=R/Z(c.2); B=X/Z(c.2) КОМПЛЕКСНАЯ МОЩНОСТЬ, БАЛАНС МОЩНОСТЕЙ U(.)=Ue(c.jψ(инд.u)); I(.)=Ie(c.jψ(инд.i)); S(~)=U(.)I(\*); I(\*)=Ie(c.-jψ(инд.i));  S(~)=U(.)I(\*)=UIe(c.j(ψ(инд.u) – ψ(инд.i))=UIe(c.jφ)=Se(c.jφ)=Uicosφ+  +jUIsinφ=P+jQ; S(~)(инд.ист)=S(~)(инд.пр); P(инд.ист)+jQ(инд.ист)=  =P(инд.пр)+jQ(инд.пр); P(инд.ист)=P(инд.пр), Q(инд.ист)=Q(инд.пр).  P(инд.пр)=Σ I(инд.k)R(инд.k); Q(инд.пр)=Σ I(инд.k)(c.2)(X(инд.Lk) –  - X(инд.Ck))=Σ I(инд.k)(c.2)X(инд.k);  РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ  Под резонансом понимают такой режим работы пассивной электрической цепи содержащей индуктивность и емкость, при котором реактивное сопротивление цепи равно нулю => равна нулю и реактивная мощность. При этом ток и напряжение в цепи совпадают по фазе. Поэтому электрический резонанс иногда называют фазовым резонансом. Различают резонанс напряжения и тока |  |  |