

Громов Н.Н.
Нижний Новгород
2006 г.

Резонансный усилитель мощности тока промышленной частоты.

Резонансный усилитель мощности тока промышленной частоты – это статический электромагнитный аппарат, предназначенный для усиления мощности тока промышленной частоты 50 Гц.

Резонанс (франц. resonance, от лат. resono – звучу в ответ, откликаюсь), относительно большой (селективный) отклик колебательной системы (*осциллятора*) на периодич. воздействие с частотой, близкой к частоте ее собств. колебаний. При Р. происходит резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний осциллятора.

- Физический энциклопедический словарь/ Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с., ил., 2 л. цв. ил.

Резонанс играет очень большую роль в самых разнообразных явлениях, причем в одних полезную, в других вредную.

В 1906 г. в Петербурге обрушился Египетский мост через реку Фонтанку. Причина – резонансные явления, вызванные переходом через мост кавалерийского эскадрона. Шаг лошадей, обученных церемониальному маршу, попал в резонанс с периодом моста. Таких примеров из истории техники можно привести много. Резонанс в этих случаях вредное явление и для устранения его принимаются специальные меры (расстройка периодов, увеличение затухания – демпфирование и др.).

В радиотехнике резонанс используется, в основном, как полезное явление. Явление электрического резонанса позволяет настраивать передатчики и приемники на заданные частоты и обеспечить их работу без взаимных помех. Вообще применения резонансных явлений в электро-радиотехнике неисчислимы. Однако законы сохранения накладывают запреты на применение резонанса для получения Свободной энергии, а у сторонников получения ее сложились устойчивые стереотипы относительно параметрического резонансного усиления. Поэтому не все еще применения явления резонанса реализованы на практике.

В настоящее время очень много копий сломано при рассмотрении темы «Резонанс Мельниченко». Есть даже категория людей, которые объявляют его шарлатаном. Мельниченко скрывает секрет своих изобретений, несмотря на полученные патенты. Но секрет Мельниченко – это «Секрет Полишинеля».

Попробуем доказать это. Возьмем всем известную книгу «*Элементарный учебник физики под ред. акад. Г.С. Лансберга Том III Колебания, волны. Оптика. Строение атома.* – М.: 1975г., 640 с. с илл.» откроем ее на страницах 81 и 82 где приведено описание

экспериментальной установки для получения резонанса на частоту городского тока
Приложение 1.

В приведенном примере ясно показывается, как можно на индуктивности и емкости получить напряжения в десятки раз большие, чем напряжение источника питания. Если не принимать специальных мер, то мощность, развиваемая резонансом, разрушит элементы установки.

В рассматриваемом резонансном усилителе тока промышленной частоты используется явление электрического резонанса в последовательном колебательном контуре. Эффект усиления мощности переменного тока в последовательном резонансном контуре достигается за счет того, что входное сопротивление контура при последовательном резонансе является чисто активным, а напряжение на реактивных элементах контура превышает входное напряжение на величину равную добротности контура. Для поддержания незатухающих колебаний последовательного контура в резонансе требуется компенсировать только тепловые потери на активных сопротивлениях индуктивности контура и внутреннем сопротивлении источника входного напряжения.

Структурная схема и состав резонансного усилителя приведена на Рис. 1.

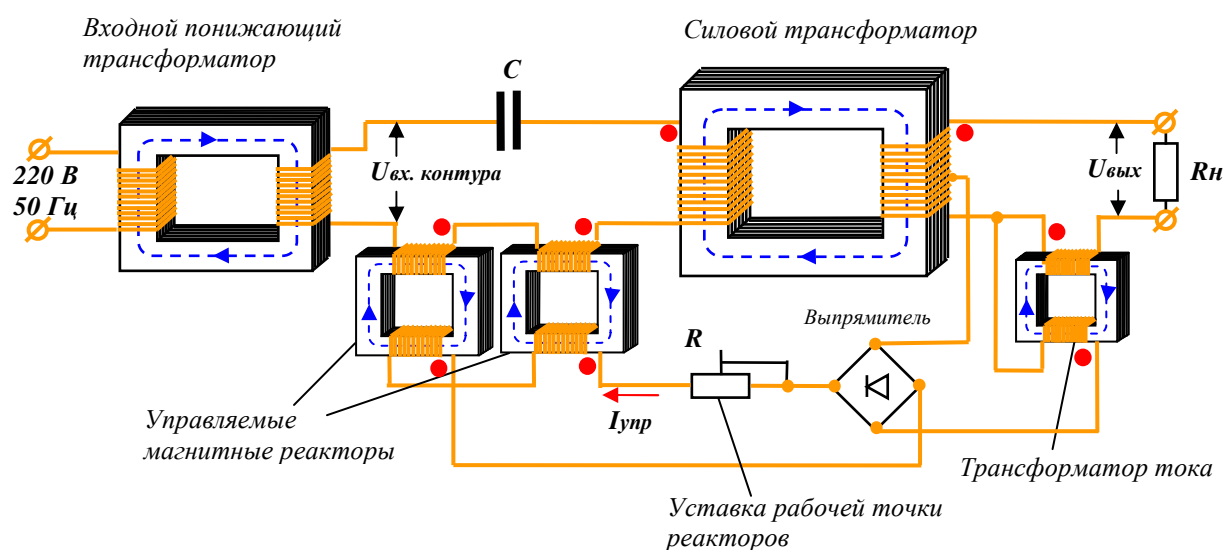


Рис. 1. Структурная электрическая схема резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты

Индуктивность резонансного контура выполнена в виде соединенных последовательно и согласованно первичной обмотки силового трансформатора и обмоток двух управляемых магнитных реакторов. В качестве емкости резонансного контура следует применять неполярный конденсатор с рабочим напряжением не менее чем удвоенное напряжение при резонансе. Управляющие обмотки магнитных реакторов включаются встречно, чтобы э.д.с., индуцированные в них, были направлены навстречу друг другу и взаимно компенсировались. Важно, чтобы характеристики магнитных реакторов были идентичными. Магнитные реакторы включаются в схему резонансного

усилителя с целью компенсации расстройки последовательного контура при изменении нагрузки.

На Рис. 2 приведена эквивалентная схема трансформатора при холостом ходе. Вектор тока холостого хода I_0 представляется в виде геометрической суммы двух составляющих I_h , характеризующей потери на вихревые токи и I_μ , характеризующей потери на гистерезис. В режиме холостого хода трансформатор работает как обычная индуктивность с потерями.

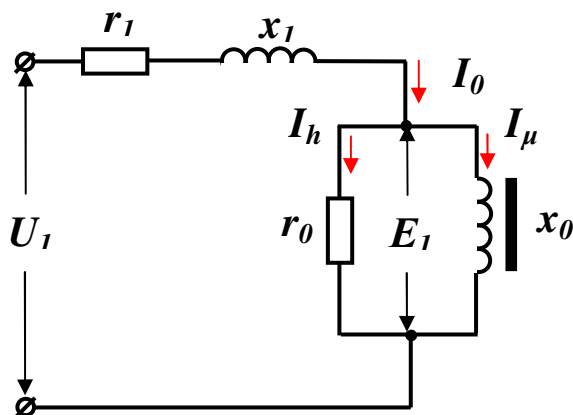


Рис. 2. Эквивалентная схема трансформатора при холостом ходе

На Рис. 3 приведена эквивалентная схема трансформатора при нагрузке.

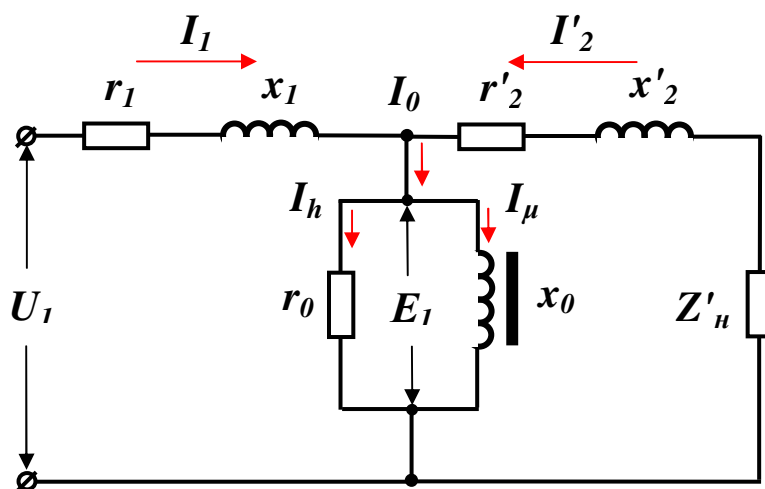


Рис. 3. Эквивалентная схема трансформатора при нагрузке

При анализе эквивалентной схемы трансформатора при нагрузке видно, что последовательно с полным входным сопротивлением первичной обмотки включены две параллельные ветви, одна из которых содержит сопротивление Z_0 , а другая два последовательно включенных сопротивления Z'_2 и Z'_n .

Эквивалентное комплексное сопротивление Z'_n можно записать в следующем виде

$$Z'_n = Z'_1 + Z'_0(Z'_2 + Z'_n)/(Z'_0 + Z'_2 + Z'_n).$$

Из эквивалентной схемы видно, что последовательно включенные комплексные сопротивления Z'_2 и Z'_n . (в геометрическом смысле) имеют отрицательное значение, и в зависимости от характера нагрузки их общее сопротивление может быть как емкостным, так и индуктивным. Эти сопротивления, если образно выразится, «зеркально отражаются во входную цепь, масштабированные через коэффициент трансформации».

В резонансном усилителе тока промышленной частоты нагруженный трансформатор вносит расстройку в последовательный колебательный контур и уменьшает его добротность.

В трансгенераторе, например, расстройка за счет нагрузки легко компенсируется изменением питающей частоты. В резонансном усилителе сделать это невозможно т.к. частота задается питающей сетью, поэтому в нем компенсация расстройки осуществляется введением обратной связи с помощью управляемых магнитных реакторов. В цепи обратной связи осуществляется анализ и геометрическое суммирование составляющих токов вторичной обмотки и нагрузки, формирование и регулирование управляющего тока.

В состав цепи обратной связи входят: часть вторичной обмотки силового трансформатора; трансформатор тока; выпрямитель и реостат уставки рабочей точки магнитных реакторов.

Эквивалентная схема резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты при нагрузке приведена на Рис. 4.

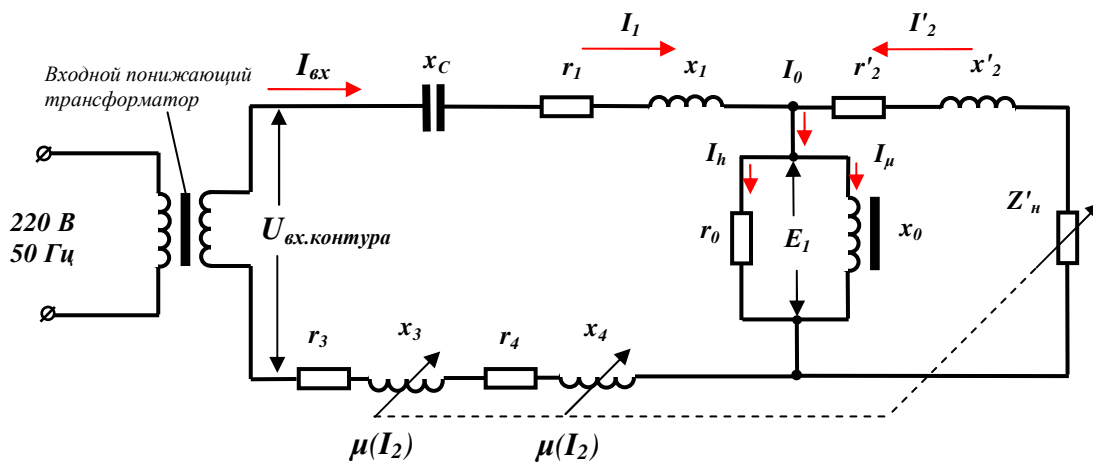


Рис. 4. Эквивалентная схема резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты при нагрузке

Два магнитных реактора с объединенными обмотками управления – это известный и широко применяемый магнитный усилитель (магнитный усилитель в этой конструкции не усиливает, а работает как управляемая индуктивность и вносит дополнительные потери на нагрев активных сопротивлений своих обмоток). В зависимости от условий работы и характера нагрузки ему можно задавать различные режимы компенсации путем введения дополнительных обмоток внутренней обратной связи и смещения.

Коэффициент усиления, резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты, сильно зависит от нагрузки, однако правильно спроектированный усилитель всегда имеет эффективность значительно больше единицы.

Математический аппарат для проектирования резонансного усилителя мощности промышленной частоты давно разработан и содержится в курсе электротехники, а также в большом количестве пособий и методических рекомендаций по проектированию трансформаторов и магнитных усилителей. Алгоритм расчета строится из анализа структурной схемы и затруднений не вызывает, важно только правильно оценить режим работы от характера нагрузки.

В качестве недостатка рассмотренной конструкции можно отметить повышенные габариты и вес. В число достоинств можно включить отсутствие активных элементов в схеме, значительно повышающее надежность конструкции.

Для работы на неизменную нагрузку можно применять упрощенные схемы резонансных усилителей. Структурная схема упрощенного резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты представлена на Рис. 5.

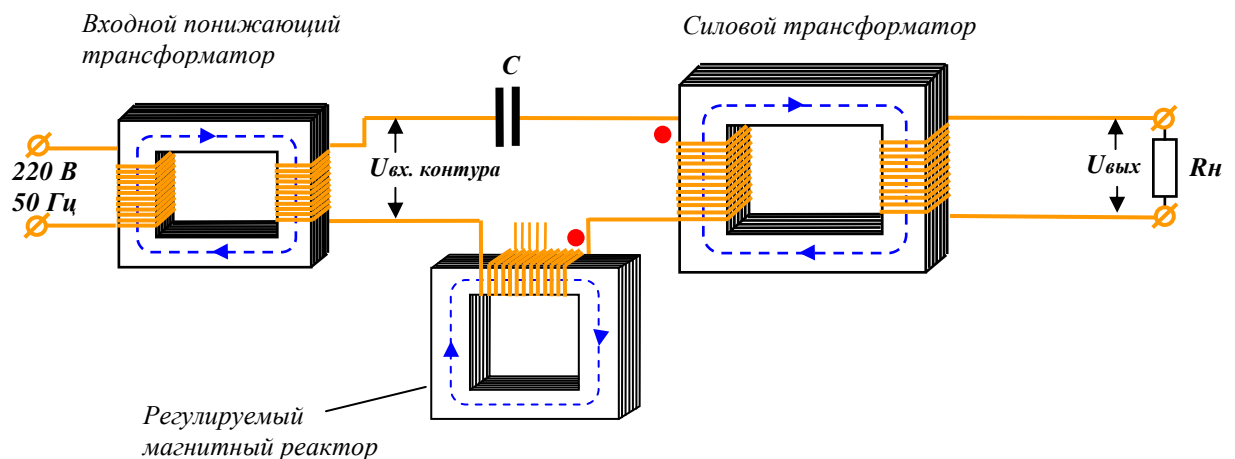


Рис. 5. Структурная электрическая схема упрощенного резонансного усилителя мощности тока промышленной частоты

Простейший резонансный усилитель состоит всего из четырех элементов. Назначение элементов такое же, как в ранее рассмотренном усилителе. Отличие только в том, что в простейшем резонансном усилителе производится ручная настройка в резонанс для конкретной нагрузки.

Рассчитать простейший усилитель можно по следующему упрощенному алгоритму:

1. Включить силовой трансформатор в сеть и измерить при заданной нагрузке потребляемый им ток.
2. Измерить активное сопротивление первичной обмотки силового трансформатора.
3. Рассчитать комплексное сопротивление трансформатора под нагрузкой.
4. Рассчитать индуктивное сопротивление трансформатора под нагрузкой.
5. Выбрать величину индуктивного сопротивления регулируемого магнитного реактора равную примерно 20% от индуктивного сопротивления силового трансформатора.

6. Изготовить регулируемый магнитный реактор, с отводами начиная со середины обмотки до ее конца (чем чаще будут сделаны отводы, тем точнее будет настройка в резонанс).
7. По условию равенства индуктивного и емкостного сопротивлений при резонансе рассчитать значение емкости, которую необходимо включить последовательно с трансформатором и регулируемым магнитным реактором для получения последовательного резонансного контура.
8. Из условия резонанса, перемножить измеренный потребляемый нагруженным трансформатором ток на сумму активных сопротивлений первичной обмотки и реактора и получить ориентировочное значение напряжения, которое необходимо подать на последовательный контур.
9. Взять трансформатор, обеспечивающий на выходе, найденное по п.8 напряжение и измеренный по п.1 потребляемый ток (на период настройки усилителя удобней всего использовать ЛАТР).
10. Запитать от сети через трансформатор по п.9 входной резонансный контур - (последовательно соединенные конденсатор, первичную обмотку нагруженного силового трансформатора и реактор).
11. Изменяя индуктивность реактора путем переключения отводов настроить первичную цепь в резонанс при пониженном входном напряжении (для более точной настройки можно в небольших пределах изменять емкость конденсатора, подключая параллельно основному, конденсаторы небольшой емкости).
12. Изменяя входное напряжение установить значение напряжения на первичной обмотке силового трансформатора 220 В.
13. Отключить ЛАТР и включить стационарный понижающий трансформатор с таким же напряжением.

Широкое применение резонансных усилителей тока промышленной частоты может существенно снизить нагрузку на распределительные электросети и снизить капитальные затраты на ввод новых электрических мощностей.

Область применения резонансных усилителей мощности тока промышленной частоты – стационарные и судовые электроустановки. Для мобильных объектов целесообразно применять трансгенераторы на повышенных частотах с последующим преобразованием переменного тока в постоянный.

Н. Громов
2006 г.

Описание экспериментальной установки для получения резонанса на частоту городского тока

При совпадении этих частот амплитуда становится наибольшей, получается электрический резонанс: ток в контуре и напряжение на его конденсаторе могут очень сильно превышать те, которые получаются при отстройке, т. е. вдали от резонанса. Резонансные явления выражены тем сильнее и резче, чем меньше сопротивление контура, которое, таким образом, и здесь играет такую же роль, как трение в механической системе.

Все эти явления легко наблюдать, используя для получения гармонической э. д. с. городской переменный ток и построив колебательный контур, собственную частоту которого можно менять в обе стороны от частоты тока (50 *Гц*). Чтобы избежать при этом высоких резонансных напряжений в контуре, которые (при напряжении в городской сети в 110 или 220 *В*) могут достигнуть нескольких киловольт, мы воспользуемся понижающим трансформатором.

На рис. 53 показано расположение приборов и электрическая схема опыта (обозначения на рисунке и на схеме одинаковые). Здесь *T* — понижающий трансформатор, *C* — конденсатор, *L*₁ и *L*₂ — дроссели (катушки самовиндукции с железными сердечниками), которые нужны для получения требуемой большой индуктивности. Индуктивность составлена из двух отдельных катушек для удобства настройки контура. Настройка осуществляется тем, что у одного из дросселей (*L*₂) сердечник имеет воздушный зазор, ширину которого можно плавно менять в пределах 2—4 *мм*, меняя тем самым величину общей индуктивности. Чем шире зазор, тем меньше индуктивность. В подписи к рис. 53 указаны примерные значения всех величин. Напряжение на конденсаторе измеряется вольтметром переменного тока *V*, а амперметр переменного тока *A* позволяет следить за током в контуре.

Опыт показывает следующее: при малой индуктивности контура напряжение на конденсаторе составляет немногим более, чем наводимая в контуре э. д. с., т. е. несколько

81

вольт. Увеличивая индуктивность, мы увидим, что напряжение растет; это нарастание становится все более и более резким по мере приближения к резонансному значению индуктивности. При тех числовых данных, которые указаны под рис. 53, напряжение поднимается выше 60 *В*. При дальнейшем увеличении индуктивности напряжение вновь падает. Ток в контуре изменяется пропорционально напряжению на конденсаторе и при резонансе может дойти до 20 *мА*.

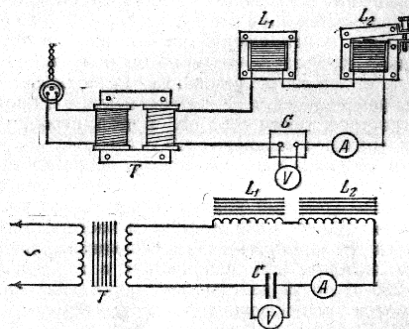


Рис. 53. Получение электрического резонанса на частоту городского тока.

T — понижающий трансформатор, например со 120 до 6 *В*; *C* — конденсатор с емкостью 1,2 *мкФ*; *L*₁ — дроссель с индуктивностью 7,5 *Гн* (сопротивление обмотки около 80 *Ом*); *L*₂ — такой же дроссель, но с переменным воздушным зазором в сердечнике. Общая индуктивность контура при некоторой средней ширине зазора (2—3 *мм*) должна составлять 8,3 *Гн*, а изменение зазора должно менять индуктивность на 15—20% в обе стороны от указанного (резонансного) значения; *V* — вольтметр (на 120 *В*) и *A* — амперметр (на 30 *мА*) переменного тока.

Этот опыт соответствует механическому опыту с грузом на пружине, который был описан в § 12. Там нам было удобней менять частоту действующей силы, здесь же мы проходим через резонансную настройку, меняя собственную частоту колебательной системы — нашего контура. Сущность явления резонанса от этого не меняется.