

Распределенная нагрузка определяется по выражению

$$F_{AB} = \frac{\alpha}{a} i_A i_B,$$

где $\alpha = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$.

Определяем составляющие \vec{F}_{AB} в глобальной системе координат $Y0Z$. Перевод вектора \vec{F}_{AB} в локальную систему координат $y_1 0z_1$ производится по выражению

$$\vec{F}_{AB}^{y_1 0z_1} = V \vec{F}_{AB}^{Y0Z},$$

где V – матрица направляющих косинусов.

Аналогично определяем проекции по оси $0y_1$ и $0z_1$ вектора \vec{F}_{AB} и складываем их с предыдущими найденными проекциями вектора \vec{F}_{AB} .

Определение максимальных нагрузок на разрыв или на изгиб или максимального напряжения в материале проводника осуществляется путем последовательного просчета от начального ψ_n до конечного ψ_k и выбирается соответствующее максимальное значение.

Разработанный метод расчета электродинамических усилий может быть использован в практике конструкторских работ по разработке шинных мостов и токопроводов с произвольным расположением изоляторов.

Литература

1. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. Введен в действие с 01.03.1999.
2. Долин А.П., Шонгин Г.Ф. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Кудрявцев Е.П., Долин А.П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. – М.: Энергия, 1981.
4. Прима И.А., Климович П.И. Электродинамическая стойкость жесткой ошиновки ГРУ-10 кВ с произвольным расположением шин и изоляторов в процессе КЗ // Третья Республиканская научковая канферэнцыя студэнтау Рэспублікі Беларусь: тэзісы дакладау / БДУ. У пяці частках. Частка 5б. – Минск, 1997. – С. 350–352.

УДК 539.194+541.67

СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Пашкович Н.П., Потачиц Я.В.

Научный руководитель – КОЛЕСНИКОВА М.Т.

Ни для кого не секрет что в последние годы нанотехнологии занимают лидирующие позиции во всех отраслях науки и техники. Как следствие в связи с бурным развитием последних растёт интерес к методам изучения объектов нанометровых размеров. Целью данной работы является рассмотрение тенденции развития микроскопии в целом и применение микроскопии к нанотехнологиям в частности.

Для начала рассмотрим обычный световой микроскоп, основными частями светового микроскопа (рисунок 1) являются объектив и окуляр, заключенные в цилиндрический корпус – тубус. Тубус располагается на верхней части массивного штатива, включающего тубусодержатель. Чуть ниже объектива (или турели с несколькими объективами) находится предметный столик, на который устанавливаются предметные стекла с исследуемыми образцами. Резкость регулируется с помощью винта грубой и точной

настройки, который позволяет изменять положение предметного столика относительно объектива.

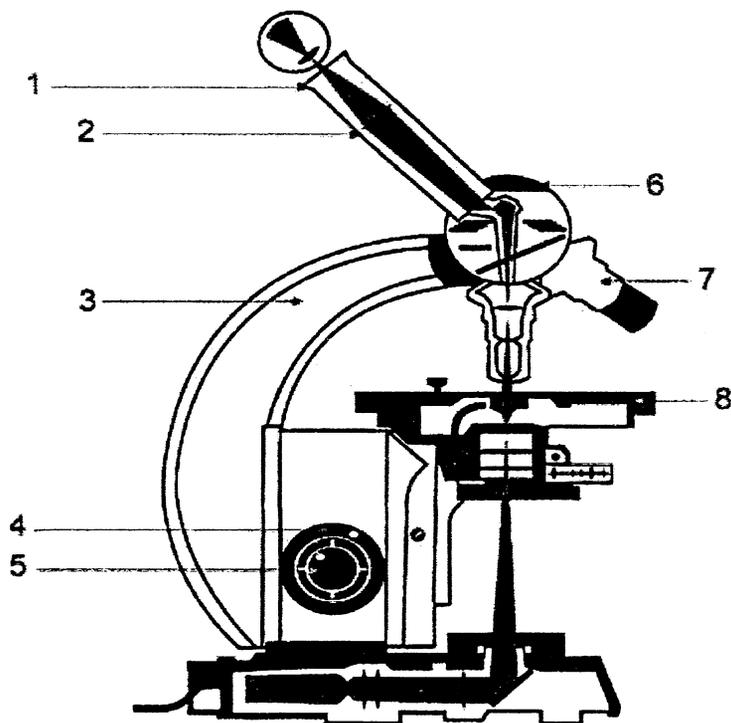


Рис. 1. Световой микроскоп: 1 – окуляр; 2 – тубус; 3 – держатель;
4 – винт грубой фокусировки; 5 – винт точной фокусировки;
6 – револьверная головка; 7 – объектив; 8 – предметный столик

Разрешающая способность – другая важнейшая характеристика микроскопа, определяющая его качество и четкость формируемого им изображения. Чем больше разрешающая способность, тем больше мелких деталей можно рассмотреть при сильном увеличении. Тут, впрочем, в оптической микроскопии таилось серьезное разочарование: оказалось, что разглядеть детали размером чуть меньше длины волны используемого света не удастся по причине дифракции этих самых световых волн. Предел лежал около полутора тысяч крат. Конечно, увеличение микроскопа можно было бы устроить и в десять тысяч крат, но все бесполезно: новых деталей уже не открывается, а все какие-то кольца да размытые пятна. Процесс сильно напоминает увеличение современной цифровой фотографии на экране компьютера: рано или поздно красивые цветы превращаются в набор безобразных цветных квадратных пикселей. Развивать световую микроскопию в область больших увеличений, как казалось, стало невозможно: на пути оказалась физика, со своими законами.

В начале двадцатого века появились электронные микроскопы: в этих устройствах вместо лучей света используются потоки электронов. Это был прорыв. Длина волны электрона много меньше световой, поэтому разрешающая способность растет. Растет не просто, а на порядки. Электронные микроскопы обеспечивают увеличение в многие десятки тысяч раз. Роль линз в электронном микроскопе выполняют электромагнитные катушки и прочие устройства, и основные принципы остались похожими на обычный световой микроскоп. Вот только смотреть под электронным микроскопом можно далеко не все – слишком жесткое излучение. И, тем не менее, длительное время мирились с тем, что на световой базе дальше развиваться некуда. Даже так и писали в учебниках и важных энциклопедиях: «достигнут дифракционный предел – дальше идти невозможно».

Электронное изображение формируется электрическими и магнитными полями примерно так же, как световое – оптическими линзами. Принцип действия магнитной линзы поясняется схемой (рисунок 2). Магнитное поле, создаваемое витками катушки, по которой проходит ток, действует как собирающая линза, фокусное расстояние которой можно изменять, изменяя ток. Поскольку оптическая сила такой линзы, т. е. способность фокусировать электроны, зависит от напряженности магнитного поля вблизи оси, для ее увеличения желательнее сконцентрировать магнитное поле в минимально возможном объеме. Практически это достигается тем, что катушку почти полностью закрывают магнитной «броней» из специального никель-кобальтового сплава, оставляя лишь узкий зазор в ее внутренней части. Создаваемое таким образом магнитное поле может быть в 10–100 тыс. раз более сильным, чем магнитное поле Земли на земной поверхности.

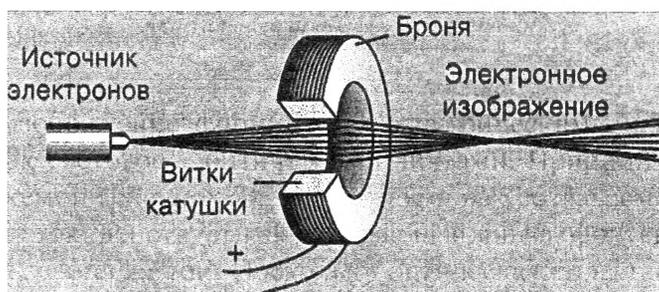


Рис. 2. Принцип действия магнитной линзы

Окончательное увеличенное электронное изображение преобразуется в видимое посредством люминесцентного экрана, который светится под действием электронной бомбардировки. Это изображение, обычно слабоконтрастное, как правило, рассматривают через бинокулярный световой микроскоп. При той же яркости такой микроскоп с увеличением 10 может создавать на сетчатке глаза изображение, в 10 раз более крупное, чем при наблюдении невооруженным глазом. Иногда для повышения яркости слабого изображения применяется люминофорный экран с электронно-оптическим преобразователем. В этом случае окончательное изображение может быть выведено на обычный телевизионный экран, что позволяет записать его на видеоленту. Видеозапись применяется для регистрации изображений, меняющихся во времени, например, в связи с протеканием химической реакции. Чаще всего окончательное изображение регистрируется на фотопленке или фотопластинке. Фотопластинка обычно позволяет получить более четкое изображение, чем наблюдаемое простым глазом или записанное на видеоленте, так как фотоматериалы, вообще говоря, более эффективно регистрируют электроны. Кроме того, на единице площади фотопленки может быть зарегистрировано в 100 раз больше сигналов, чем на единице площади видеоленты. Благодаря этому изображение, зарегистрированное на фотопленке, можно дополнительно увеличить примерно в 10 раз без потери четкости. К тому времени, как был достигнут дифракционный предел для видимого света (примерно 1000-кратное увеличение), люди поняли, что самое интересное так и осталось за кадром: с помощью оптических устройств никогда не удастся увидеть атомы, имеющие размер порядка ангстрема (0,1 от миллиардной доли метра). А посмотреть на них очень хотелось. Вплотную подойти к заветной цели помог электронный микроскоп. И все же лучшее, на что здесь можно рассчитывать, это картинки с атомами-точками. Дальше наше зрение бессильно, и никакой микроскоп тут не поможет кроме туннельного.

Идея туннельного микроскопа состоит в следующем. Очень тонкая игла-зонд с острием в один атом перемещается над поверхностью объекта на расстоянии порядка

одного нанометра. В соответствии с законами квантовой механики возникает туннельный эффект: электроны преодолевают вакуумный барьер между объектом и иглой, и в цепи «образец–игла» начинает течь ток. Величина его чрезвычайно сильно зависит от расстояния между концом иглы и поверхностью объекта. Так сильно, что даже при уменьшении промежутка всего на один ангстрем ток возрастает примерно на порядок. Поэтому, следя за величиной тока при перемещении иглы вдоль поверхности, можно изучать ее рельеф – словно читая книгу для слепых. В теории идея красивая и простая, но на практике чрезвычайно сложная. Нужно полностью устранить вибрации, термические деформации, сделать иглу с одноатомным острием, да еще уметь перемещать ее с субатомной точностью. Первые две задачи можно решить, сделав виброразвязку и изолировав систему в вакууме от акустических шумов, а для компонентов конструкции подобрав материалы с малыми коэффициентами термического расширения. Что касается перемещения, тут, к счастью, есть пьезодвигатели. Но как быть с иглой? Выручило то, что на атомном уровне поверхность всегда «шероховатая», и на ней всегда найдется «мини-острие», выступающее дальше всех. Именно оно первым будет «чувствовать» поверхность, а ток через соседние атомы на конце иглы будет на порядок меньше. Убедиться в правильности этих рассуждений можно было только в экспериментах, которые заняли 27 месяцев. После того как первые картинки с атомным разрешением поверхности золота и кремния были представлены научному сообществу, наступило напряженное ожидание: никто не мог повторить замечательный результат. Через три года после публикации до авторов дошли интересные слухи. Оказалось, в научной среде не редки споры на бутылку шампанского, что все эти картинки – просто компьютерное моделирование! Ситуация радикально изменилась только в 1985 г., когда результаты были наконец подтверждены в нескольких лабораториях. А уже на следующий год его создателям, Биннигу и Рореру, была присуждена Нобелевская премия по физике. На самом деле сомнения скептиков были не совсем уж безосновательны. Ведь, несмотря на похожее название, туннельный микроскоп, в отличие от привычного оптического, не дает в прямом смысле увеличенное изображение объекта. Удивительная трехмерная (!) картинка с атомами – всего лишь интерпретация результатов взаимодействия иглы и поверхности образца, график, показывающий, как меняется ток при движении иглы параллельно поверхности. Так что же мы «видим» в туннельный микроскоп? Чтобы ответить на этот вопрос, понадобились теоретические расчеты, эксперименты с разными материалами, сравнение данных, полученных разными методами. И теперь мы знаем почти наверняка – игла «чувствует» электронные оболочки атомов. Сейчас мастерство экспериментаторов достигло такого уровня, что они могут отличать разные орбитали электронных оболочек и даже слои атомов, расположенные на разной глубине. Судя по данным туннельной микроскопии, поверхность твердого тела представляет собой череду выпуклостей и впадин, похожих на упакованные в коробку шарики. Такое изображение с разрешением в несколько десятых или даже сотых долей атомного размера (что соответствует увеличению в 100 миллионов раз) дает туннельный микроскоп – максимально подробная картина мира, доступная на сегодняшний день.

Литература

1. Уикрамасингх Х.К. Растровые микроскопы с зондами – остриями // В мире науки. – 1989. – № 12. – С. 62–71.
2. Диденко И.А., Либенсон М.Н. Оптическая микроскопия сверхвысокого разрешения // Оптический Вестник. – 1992. – № 5–6. – С. 1–2.
3. Либенсон М.Н. Поверхностные электромагнитные волны в оптике // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 11. – С. 103–110.
4. Жданов Г.С., Либенсон М.Н., Марциновский Г.А. Оптика внутри дифракционного предела // УФН. – 1998. – Т. 168, № 7. – С. 801–804.

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В ПРОСТЕЙШЕЙ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ ВНЕЗАПНОМ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Пыган Е.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент БУЛАТ В.А.

Простейшей трехфазной цепью называют симметричную трехфазную цепь с сосредоточенными активным и индуктивным сопротивлениями при отсутствии в ней трансформаторных связей.

Электромагнитный процесс в такой цепи рассмотрим при допущении, что ее питание осуществляется от источника бесконечной мощности. Такой источник характеризуется неизменностью напряжения на шинах по амплитуде и по частоте.

Однако любой реальный источник обладает конечной мощностью, но если она во много раз превышает мощность элементов, за которыми рассматриваются КЗ, то напряжение на шинах питающей системы изменяется незначительно, что дает возможность в практических расчетах это изменение не учитывать. Кроме того, наличие АРВ дополнительно способствует принятию этого допущения. Получающееся при принятии этого допущения увеличение тока КЗ, как правило, не влияет на выбор устанавливаемого оборудования. Кроме того, дальнейшее увеличение мощности электрической системы не приводит к превышению полученных расчетных токов КЗ.

В качестве основного допущения считаем, что между токами и напряжениями рассматриваемых цепей сохраняется линейная зависимость и, следовательно, они могут быть связаны линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

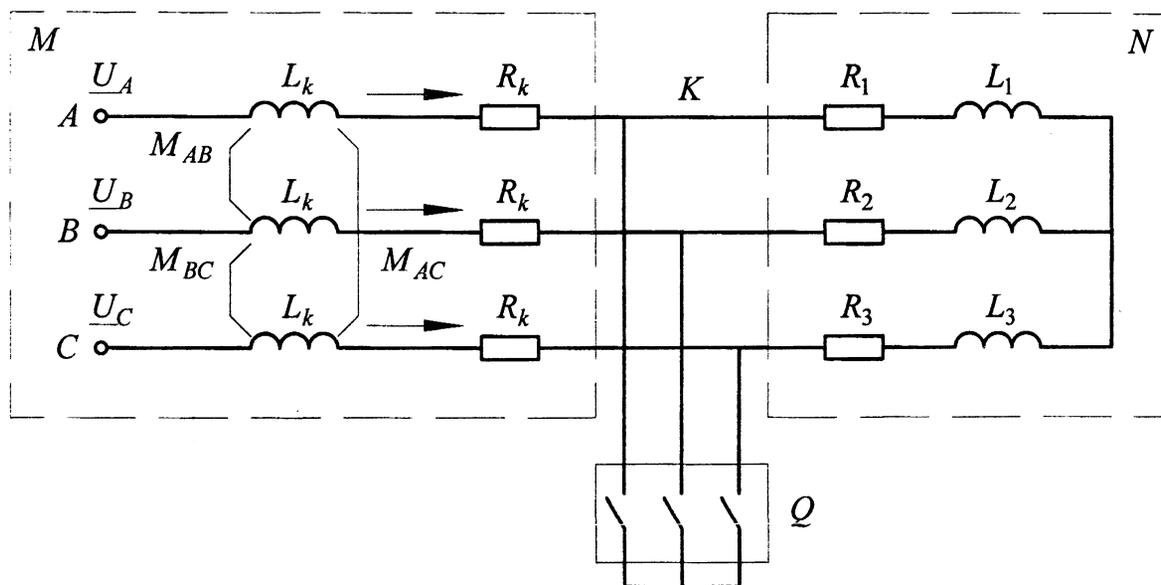


Рис. 1. Простейшая трехфазная цепь

На рисунке 1 представлена трехфазная симметричная цепь, питаемая источником с неизменным синусоидальным напряжением

$$U_A = \sqrt{2}U_n \sin(\omega t + \alpha);$$

$$U_B = \sqrt{2}U_n \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ);$$