**Источники тока и напряжения**

**Идеальный** источник напряжения это прибор у которого напряжение между двумя контактами всегда постоянно и не зависит от тока, который течет в электрическую цепь, подключенную к эти контактам (нагрузку). Следовательно, графически зависимость тока от напряжения (вольт-амперная характеристика) для идеального источника напряжения будет выглядеть так, как показано на рисунке 1.

В реальных схемах идеальных источников нет, хотя бы потому, что в любой конструкции есть соединительные проводники, которые имеют ненулевое сопротивление будем называть это сопротивление “внутренним сопротивлением реального источника напряжения”. Реальный источник напряжения можно представить в виде эквивалентной схемы, состоящей из идеального источника напряжения с ЭДС E и последовательно соединенного с ним паразитного резистора, сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению реального источника напряжения r (рисунок 2). Если подключить к реальному источнику внешнее сопротивление Rн в электрической цепи потечет ток

Iн = Eo/(Rн+r) (1)

Напряжение на контактах источника напряжения

Uн = Eo - Iн\*r = Eo(1 - r/(Rн + r)) (2)

Как видно из графика (рисунок 3), напряжение на контактах реального источника с ростом тока уменьшается и при стремлении сопротивления нагрузки к нулю (режим короткого замыкания), тоже стремится к нулю. Ток короткого замыкания:

Iкз = Eo/r, Uкз = 0; (3)

В отсутствии нагрузочного резистора (режим холостого хода)

Iхх = 0, Uхх = Eo; (4)

**Идеальный источник тока**

Идеальный источник тока это такая же абстракция, как и идеальный источник напряжения, идеальный источник тока выдает в нагрузку всегда одинаковый ток Io независимо от напряжения, которое возникает на контактах источника. Вольт амперная характеристика идеального источника тока показана на рисунке 4. Идеального источника тока, на практике тоже не существует, хотя-бы ввиду того, что всегда имеются ненулевые токи утечки, которые протекают между контактами источника тока и при изменении напряжения между контактами этот ток будет меняться . Реальный источник тока можно представить в виде параллельного соединения идеального источника тока Io и паразитного резистора Rп, через который протекает ток утечки рисунок 5. Если подключить к контактам реального источника тока сопротивление нагрузки Rн, то напряжение на контактах реального источника тока:

Uн = Io\*(Rп||Rн) = Io\*Rп\*Rн/(Rп + Rн) (5)

Выходной ток источника (ток, протекающий через нагрузочный резистор):

Iн = U/Rн = Io\*Rп/(Rп + Rн); (6)

Из графика (рисунок 6) видно, что при увеличении напряжения на нагрузочном резисторе, ток нагрузки уменьшается и при стремлении сопротивления нагрузки к бесконечности (режим холостого хода) выходной ток падает до нуля. При этом напряжение на контактах источника тока:

Uхх = Io\*Rп, Iхх = 0; (7)

При нулевом сопротивлении нагрузки (режим короткого замыкания):

Uкз = 0, Iкз = Io; (8)

**Эквивалентный источник**

Сравнение вольт-амперных характеристик реального источника тока и реального источника напряжения показывает, что принципиальной разницы между этими графиками не существует. Обе ВАХ это линейные функции. Рассмотрим ВАХ на рисунке 7. С одной стороны, если посмотреть на соотношения (3) - (4) можно сказать, что это источник напряжения с ЭДС Eo=Uхх и с внутренним сопротивлением r = Uхх/Iкз.

Однако, можно, глядя на соотношения (7) - (8) утверждать, что данная ВАХ принадлежит источнику тока с Io = Iкз и Rп = Uхх/Io.

Следовательно, эти источники эквивалентны. Т.е. При любом токе нагрузки, напряжения на контактах этих источников одинаковы. Значит любой реальный напряжения с ЭДС Eo и внутренним сопротивлением r, всегда можно заменить эквивалентным источником тока с током Io = Eo/r и Rп = r и наоборот (рисунок 8)

Часто на практике преобразование источника тока в эквивалентный источник напряжения или наоборот, используется для упрощения схем.

Из (2) и (5) следует, что если нагрузочное сопротивление велико по сравнению с r или Rп, то

напряжение на нагрузке мало зависит от Rн и ВАХ источника в этой области ближе к идеальному источнику напряжения, чем к идеальному источнику тока. Наоборот, в области Rн << r или Rн << Rп ВАХ приближается к идеальному источнику тока: ток при изменении Rн изменяется мало, на напряжение почти пропорционально Rн

**Полезная мощность**

Из соотношений (1), (2) и (5), (6) следует, что с увеличением нагрузочного резистора ток в нем падает, а выходное источника увеличивается. Максимальное напряжение на нагрузочном резисторе будет достигнуто, если устремить его сопротивление к бесконечности, при этом ток нагрузки будет равен нулю (режим холостого хода).

С уменьшением сопротивления нагрузочного резистора ток нагрузки возрастает, для достижения максимального тока нагрузки необходимо уменьшить сопротивление нагрузки до нуля, при этом напряжение на контактах источника станет нулевым (режим короткого замыкания).

Следовательно в режиме короткого замыкания и в режиме холостого хода мощность, которую источник тока/напряжения отдает в нагрузку равна нулю. Найдем сопротивление нагрузки при котором мощность, отдаваемая в нагрузку максимальна.

Рассмотрим источник тока с Io и Rп. Мощность, отдаваемая в нагрузку

Pн = Iн2Rн

Учитывая (6)

Pн = Io2\*Rп2\*Rн/(Rп + Rн)2

продифференцируем мощность в нагрузке по Rн

dP/dRн = (Io\*Rп)2\*((Rп + Rн)2 - 2(Rп + Rн)\*Rн)/(Rп + Rн)4 ;

Приравнивая производную нулю, можно найти, что максимум мощности в нагрузке достигается при Rн = Rп. Максимальная мощность в нагрузке

Pmax = Io2Rн/4 = Io2Rп/4;

Аналогичные вычисления для источника напряжения приводят к выводу, что максимальная мощность источника напряжения с ЭДС Eo и внутренним сопротивлением r достигается при Rн= r и

Pmax = Eo2/(4\*Rн) = Eo2/(4\*r);

**Переменный ток**

Полученные формулы можно обобщить для случая переменного тока и комплексных сопротивлений сопротивлений [1]. В этой работе во всех заданиях будут использоваться только активные сопротивления, поэтому для данной работы все сказанное выше верно и для источников переменного тока.

Практическое применение

Предположим, что вместо нагрузочного резистора Rн к контактам источника напряжения будет подключена какая-то схема состоящая из резисторов. Поскольку падение напряжения на каждом из резисторов пропорционально, протекающему через него току (закон Ома), то независимо от сложности схемы, ток через схему Iн (рисунок 9) пропорционален напряжению на контактах схемы Uн.

Т.е. можно записать:

Uн ~ Iн

Значит ВАХ такой схемы аналогична ВАХ резистора с некоторым эквивалентным сопротивлением Rэкв, которое можно вычислить исходя из конкретной схемы или измерить экспериментально, если схема неизвестна или слишком сложная.

Uн = Rэкв \* Iн.

Это позволяет для любой линейной схемы (схемы для которой ток и напряжение на внешних контактах линейно связаны), ввести понятие **входное сопротивление**

Rвходное = Rэкв = Uн/Iн.

Знание входного сопротивления позволяет определить значения напряжения и тока, на контактах любого источника напряжения (или источника тока) к которому может быть подключена данная схема.

Uн = Eo\*(1 – Rвх/(Rвх + r) )

Эта простая формула не требует какого либо анализа, связанного с внутренним устройством схемы..

Рассмотрим источник напряжения с ЭДС Eх и внутренним сопротивлением rх. Подключим к его контактам сопротивление Rх (рисунок 9). Предположим изначально значения Eх, rх и Rх не известы. Схему можно разделить на 2 части. Слева находится схема, которую можно назвать источником электрической энергии, справа находится схема - приемник электрической энергии.

Чтобы найти напряжение, которое установится на контактах необходимо узнать 2 характеристики: зависимость напряжения от тока (ВАХ) для источника электрической энергии и для приемника электрической энергии.

ВАХ источника можно выразить через ЭДС и внутреннее сопротивление, которое можно назвать выходным сопротивлением схемы, расположенной слева.

ВАХ приемника можно выразить через сопротивление Rх, которое можно назвать входным сопротивлением схемы расположенной справа.

На практике, схемы источника

то напряжение между контактами бдет:

Uн = EoRн(r + Rн);

Д

Предположим у нас есть источник с известной ВАХ, например, как на рисунке 7. Зная ВАХ можно вычислить по формулам (3), (4) и (7), (8) вычислить ЭДС или ток Io

Если ВАХ какой то электрической схемы известна, например, измерена экспериментально, то можно не вдаваясь в подробности внутреннего устройства схемы считать ее источником тока или напряжения с известным внутре

Задачи

1 Какой ток потечет через нагрузочный резистор в схеме показанной на рисунке. Подсказка: преобразуйте источники напряжения в эквивалентные источники тока и решите задачу устно.

2. Можно ли из источника напряжения с ЭДС 10 Вольт и внутренним сопротивлением r 100 Ом сделать источник тока с током кз Io 1 мА и внутренним сопротивлением 5 кОм. Предложите схему. Возможно ли обратное преобразование.

3. Рассчитайте напряжение на выходных контактах генератора. Каким эквивалентным сопротивлением Rэкв можно заменить правую часть схемы (трансформатор + Rн), чтобы напряжение на контактах генератора не изменилось.

2. Докажите что если E1 ≠ E2, схема а) справа отдаст в нагрузку больше мощности чем схема б)

3. Каким должен быть резистор Rн, чтобы:

а) через него протекал максимальный ток

б) На нем было максимальное напряжение

в) на нем выделялась максимальная мощность

г) КПД (т.е. отношение мощности выделяемой на Rн к общей мощности отдаваемой источником) был максимальным.

3. В какой из трёх приведенных ниже схем на нагрузочном резисторе выделится наибольшая мощность?

4.В лаборатории есть гальваническая батарея очень большой емкости с внутренним сопротивлением 100 миллиОм, и ЭДС 9 Вольт. Оцените за какое минимальное время при помощи этой батареи можно вскипятить стакан воды? Какие проблемы могут возникнуть при попытке практической реализации такого устройства?

5. Разработайте методику измерения входного сопротивления прибора. Например вольтметра.

7. Разработайте методику измерения ЭДС и выходного сопротивления прибора с неизвестной схемой. Например генератора. Что изменится, если этот прибор считать не источником напряжения, а источником тока и необходимо узнать ток кз Io и внутреннее сопротивление Rп?

8. Какое напряжение установится на контактах источника тока (см. Рисунок ниже), если к его контактам подключить схему, внутреннее устройство которой неизвестно, но известно, что ее входное сопротивление 1 кОм

Практические задания.

1. Измерьте входное сопротивление вольтметра
2. Подайте напряжение на источник света. При освещении фододиод вырабатывает электрический ток. Экспериментально определите определите его ток короткого замыкания и внутреннее сопротивление.
3. Какое напряжение покажет вольтметр если его подключить в фотодиоду
4. Рассчитайте теоретически какую максимальную мощность можно получ
5. Подключите вход черного ящика 2 к лабораторному источнику напряжения и установите на выходе лабораторного источника напряжение 10 Вольт. Используя разработанный алгоритм измерьте выходное сопротивление и ЭДС получившегося в результате источника напряжения.
6. Рассчитайте максимальную мощность, которую можно получить от получившейся в предыдущем пункте схемы. Используя резисторы из лабораторной кассы соберите схему, позволяющую получить эту мощность.
7. Используя лабораторный источник и резисторы из лабораторной кассы соберите источник тока с внутренним сопротивлением 10 кОм и током к.з. 2мА. Подключите к нему нагрузочный резистор с сопротивлением 5 кОм и измерьте выходное напряжение источника тока. Сравните с расчетным.
8. В черном я
9. Подключите вход черного ящика 4 лабораторному источнику напряжения и установите на выходе лабораторного источника напряжение 10 Вольт. Рассматривая полученный прибор как источник тока измерьте его внутреннее сопротивление и ток Io.
10. Измерьте выходное сопротивление генератора.