

**ESR** - Equivalent Series Resistance - один из параметров конденсатора, характеризующий его активные потери в цепи переменного тока.

Его можно представить, как включенный последовательно с конденсатором резистор, сопротивление которого определяется, главным образом, диэлектрическими потерями, а так же сопротивлением обкладок, внутренних контактных соединений и выводов.

Потери в диэлектрике, обусловленные особенностями его поляризации, составляют основную часть потерь в конденсаторе и определяются материалом, а так же толщиной слоя диэлектрика

Частицы диэлектрика, обладающие зарядом, под воздействием переменного электрического поля вынуждены совершать произвольные механические колебания, обусловленные их переориентацией и смещением (поляризацией). В слоях диэлектрика, близких к обкладкам, заряды, не покидая своих связей, активно участвуют во всех процессах формирования напряжения и тока в конденсаторе, как и проводники, уменьшается толщина слоя реального диэлектрика.

В результате существенно повышается ёмкость конденсатора но, по причине инертности и внутреннего трения связанных частиц, процессы сопровождаются выделением тепла и потерями энергии в токопроводящих слоях диэлектрика. То есть, эти поляризованные слои обладают активным сопротивлением электрическому току. По той же причине (механической инертности поляризованных зарядов) с увеличением частоты, диэлектрические потери пропорционально возрастают.

В электролитических конденсаторах значимой частью ESR является сопротивление жидкого электролита, который используется в качестве одной из обкладок для обеспечения максимальной площади соприкосновения с диэлектриком. Активное сопротивление электролита обычно соизмеримо с десятыми или даже с сотыми долями Ома (при 20°С), но для конденсаторов большой ёмкости, используемых в фильтрах выпрямителей импульсных источников питания на рабочей частоте порядка 100 кГц, когда его реактивное сопротивление измеряется тысячными долями Ома, эта величина может составлять основные потери, и будет значительно уменьшаться по мере прогрева.

При рабочей температуре величина диэлектрических потерь на таких частотах обычно оказывается в несколько раз больше. Сопротивление электролита зависит от температуры по причине изменения степени его вязкости и подвижности ионов.

Таким образом, в процессе работы происходит нагрев диэлектрика и электролита переменным током, в связи с чем существенно уменьшается сопротивление электролита, тогда ESR конденсатора будет определяться в большей степени его диэлектрическими потерями, которые продолжат нагревать конденсатор в расчётных пределах.

Но, в случаях разогрева до температуры кипения, электролит утрачивает свои первоначальные свойства и при последующем охлаждении становится более вязким, что ухудшает подвижность ионов и повышает активное сопротивление. Наряду с ухудшением качества электролита, часто активное сопротивление в конденсаторах возрастает по причине ухудшения контактов обкладок с выводами, вплоть до полного обрыва. Кроме того, дальнейшая эксплуатация будет вызывать ещё больший разогрев и ухудшение качества электролита, что в последствии приведёт к непригодности конденсатора для дальнейшей его эксплуатации. Вышедшие из строя таким образом конденсаторы (кипение электролита), обычно определяются визуально по вздувшемуся корпусу.

**Для надёжности работы электролитических конденсаторов очень важен правильный выбор его типа, номинала и максимального напряжения в зависимости от режимов и условий эксплуатации** . Для фильтров выпрямителей в преобразователях, работающих на частотах десятков или сотен килогерц, производители выпускают специальные конденсаторы с малым ESR и указывают полное сопротивление переменному току (импеданс  $Z$ ) для всех номиналов в таблицах. Тип таких конденсаторов сопровождается пометкой в технической документации - **Low impedance**

или

**Low ESR**

### Таблица ESR

Реактивное сопротивление конденсаторов, частота 20кГц

1000 мкф	0.008 Ом
470 мкф	0.017 Ом
220 мкф	0.036 Ом
100 мкф	0.08 Ом
47 мкф	0.17 Ом
22 мкф	0.36 Ом
10 мкф	0.8 Ом
4.7 мкф	1.7 Ом
2.2 мкф	3.6 Ом
1 мкф	8 Ом
0.47 мкф	17 Ом