

Постоянное напряжение на нагрузке (цепочке светодиодов) U_{HL} будет:

$$U_{HL} = U_F \times n = 3,1 \times 60 = 186V_{dc}$$

где: U_F - прямое падение напряжения на одном светодиоде (в данном случае $U_F = 3,1V$); n - количество светодиодов (в данном случае используется 60 штук). Падение напряжения на одном светодиоде, равное 3,1V – это по твоим данным.

Переменное напряжение на нагрузке (на входе диодного моста) U_H будет:

$$U_H = \frac{U_{HL} + 2 \times U_{VD1}}{\sqrt{2}} = \frac{186 + 2 \times 1}{\sqrt{2}} = 132,94V_{ac}$$

где: U_{VD1} - прямое падение напряжения на одном диоде моста ($U_{VD1} = 1V$).

Если применяется малое количество светодиодов, то падение напряжения на диодах моста нужно учитывать, если большое, то можно не учитывать.

На балласте будет падать напряжение U_6 :

$$U_6 = U_c - U_H = 220 - 132,94 = 87,06V_{ac}$$

где: $U_c = 220V_{ac}$ - напряжение сети.

У примененных в данном случае светодиодов рабочий ток равен $I_H=20mA$. Ток, протекающий через балласт, будет:

$$I_{эфф} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \times I_H = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \times 20 = 22,21mA$$

Делим полученный результат на 1000, получаем результат в Амперах: $I_{эфф} = 0,02221A$.

Соппротивление балласта будет:

$$Z_6 = \frac{U_6}{I_{эфф}} = \frac{87,06}{0,02221} = 3919,86\Omega$$

Балласт состоит из резистора R1 и конденсатора C1. Резистор R1 служит для ограничения амплитуды импульса зарядного тока конденсатора C1 через диоды моста на безопасном для них уровне. Это его основное предназначение. Минимальное значение резистора R1 будет:

$$R1_{min} = \frac{2\sqrt{2} \times U_{c.max}}{I_{VD.u.max}} = \frac{2\sqrt{2} \times 242}{50} = 13,7\Omega$$

где: $U_{c.max} = 110\% U_c = 242V$ - максимально допустимое напряжение сети,

$I_{VD.u.max} = 50A$ - максимально допустимый импульсный ток диодов моста DB107.

Берем $R1 = 120\Omega$. Максимальное значение резистора R1 ограничено тепловыделением. При $R1 = 120\Omega$ на нем будет рассеиваться мощность:

$$P_{R1} = I_{эфф}^2 \times R1 = 0,02221^2 \times 120 = 0,06W$$

Рассчитаем реактивное сопротивление балластного конденсатора C1:

$$X_{C1} = \sqrt{Z_6^2 - R1^2} = \sqrt{3919,86^2 - 120^2} = 3918,02 \Omega$$

Как видим, сопротивление резистора R1 в расчетах можно было не учитывать.

Рассчитаем емкость балластного конденсатора C1:

$$C1 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_{C1}} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 3918,02} = 8,1 \times 10^{-7} F$$

где: f - частота сети, f=50Hz.

Умножим полученный результат на 10^6 , получаем результат в микроФарадах: $C1=0,81\mu F$. Ты взял конденсатор емкостью $0,69\mu F$. Если произвести обратный расчет, то увидим, что при напряжении в сети 220V ток через светодиоды будет $16,99mA$, при напряжении в сети 198V ток будет $12,69mA$, при напряжении в сети 242В ток будет $21,28mA$, а ток в $16,01mA$ будет протекать при напряжении в сети 215V. Если использовать меньшее количество светодиодов, то разброс тока при изменении напряжения в сети будет меньше. Например: если запитывать цепочку из 30-ти светодиодов через балластный конденсатор $0,37\mu F$ ($0,22\mu F + 0,15\mu F$), то при 198V, 220V и 242V через светодиоды будет протекать ток – соответственно $13,7mA$, $16mA$ и $18,3mA$. Налицо – меньший разброс.

Напряжение стабилизации стабилитрона должно быть больше, чем падение напряжения на всей цепочке светодиодов, но меньше, чем напряжение конденсатора C2:

$$U_{C2} > U_{ст} > n \times U_F$$

$$250V > U_{ст} > 186V$$

Берем стабилитрон с напряжением стабилизации 200V (перед установкой стабилитрона лучше всего замерить падение напряжения на всей цепочке светодиодов, чтобы убедиться, что это напряжение меньше напряжения стабилизации стабилитрона не менее, чем на 5-10 Вольт). Стабилитрон выполняет защитную роль и в работе участия не принимает, т.е. ток через него не протекает. Но если вдруг выйдет из строя какой-нибудь светодиод, тогда в работу вступит стабилитрон, ограничивая напряжение на безопасном для конденсатора C2 уровне. При этом через стабилитрон будет протекать ток (максимальное значение):

$$I_{ст} = 4 \times f \times C1 \times (1,1 \times U_c \times \sqrt{2} - U_{ст}) =$$

$$= 4 \times 50 \times 0,69 \times 10^{-6} \times (242 \times \sqrt{2} - 200) = 0,01962A = 19,62mA$$

Здесь – расчет без учета сопротивления R1 и падения напряжения на диодах моста. Максимальный рабочий ток стабилитрона (из Даташита) должен быть больше расчетного значения. Если трудно подобрать стабилитрон с таким током, нужно подключить последовательно несколько стабилитронов на меньшее напряжение (суммарное напряжение должно сохраниться), при одинаковой мощности у них больший ток.

Расчет балластного конденсатора C1 можно выполнить сразу, сведя приведенные формулы в одну (без учета сопротивления токоограничивающего резистора R1 и падения напряжения на диодах моста):

$$C1 = \frac{\sqrt{2} \times I_n \times 10^6}{8 \times f \times U_c - 4\sqrt{2} \times f \times U_F \times n}$$

где: I_H — ток через светодиоды, U_C — напряжение сети, f - частота сети, U_F - прямое падение напряжения на одном светодиоде, n - количество светодиодов.

P.S. Как показывает практика, рабочий ток для таких светодиодов лучше задавать не $20mA$, а $15mA$. Яркость падает не так значительно, а срок службы светодиодов увеличивается. И еще: у тебя на 60-ти светодиодах будет выделяться мощность:

$$P = U_{HL} \times I_H = 186 \times 0,016 = 2,98W$$

т.е. 3 Ватта, их надо как-то рассеять, поэтому ножки у светодиодов нужно оставлять как можно длиннее, а печатные дорожки делать шире.