Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.ХУШ, вып. 1, 1975 г.

РАСЧЕТ И НАСТРОЙКА СХЕМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ВАРИКАПАХ ДЛЯ ЕМКОСТНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВЛАГОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.М.Проскуряков, В.П.Терехов

При построении схем температурной компенсации в емкостных влагометрических системах необходимо учитывать, что изменение температурного коэффициента емкости (ТКЕ) контролируемого материала может иметь различный характер в зависимости от его влажности. Так, для апатитового концентрата, вырабатываемого на разных фабриках комбината "Апатит", ТКЕ либо постоянен и равен 0,20 пФ/град, либо в зависимости от влажности концентрата изменяется от 0,03 (при влажности ниже 0,5%) до 0,28 пФ/град (при влажности выше 2,5%). Для концентрата с влажностью от 0,5 до 2,5% характер изменения ТКЕ монотонно возрастающий.

На рис. 1 приведена принципиальная схема для автоматической температурной компенсации, применяемая во влагометрических системах дискретного действия, работающих на принципе Γ-метра. Схема предназначена для компенсации температурных зависимостей, охарактеризованных выше. В основу схемы положена идея изменения емкости колебательного контура при помощи одного или нескольких варикапов, постоянное смещение на которых автоматически изменяется в зависимости от величины термосопротивления R_T, установленного в датчике системы и находящегося в непосредственном контакте с контролируемым материалом, а также в зависимости от активного сопротивления датчика в зоне переменного ТКЕ материала. Схема должна быть рассчитана таким образом, чтобы для материала одной влажности при изменении его температуры выполнялось условие

$$TK\alpha_W \cdot \Delta t = -\Delta C, \qquad (1)$$

где $TK\alpha_W$ – температурный коэффициент изменения выходного параметра системы α_W при измерении влажности W; Δt – рабочий перепад температур; ΔC – приращение емкости датчика.

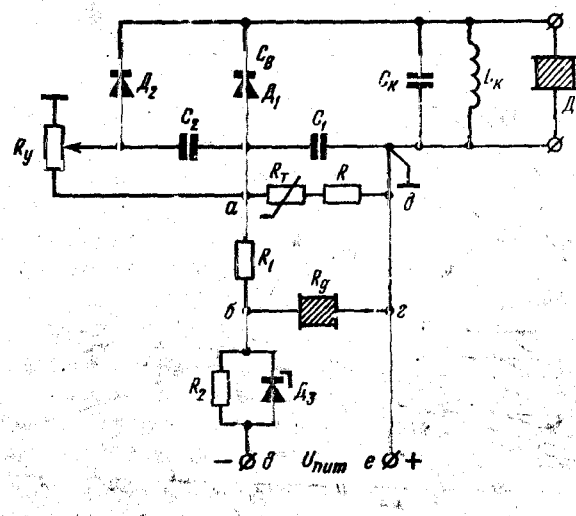


Рис. 1. Схема температурной компенсации, подключаемая в колебательный контур гетеродина

Кроме этого схема должна автоматически изменять коэффициент термокомпенсации в соответствии с изменением ТКЕ.

Аналитический расчет схем, обеспечивающих температурную компенсацию по заданному закону, затрудняют следующие обстоятельства. Характеристика термистора в рабочем диапазоне температур и зависимость емкости варикапа от управляющего напряжения нелинейны, причем перераспределение напряжений на делителе $R_2 - R_1 - R_т - R_д$ (см.рис.1) вносит дополнительную существенную нелинейность. Кроме того, на варикапе в зависимости от параметров схемы термокомпенсации и от напряжения на колебательном контуре имеется переменное по величине автосмещение, не зависящее от управляющего напряжения смещения.

Для точного расчета схем, обеспечивающих температурную компенсацию по заданному закону, удобнее пользоваться графическим методом.

Рассмотрим компенсацию вида $d\alpha_w/dt = const$. Для этого случая схема, показанная на рис. 1, частично упрощается: отключаются резистивный датчик $R_д$ и цепочка $R_2 - Д_3$, напряжение $U_{пит}$ подается на клеммы $б-г$. Ход расчета таков.

1. Снимаем экспериментально для конкретной системы датчик-термистор зависимость $R_т$ от температуры материала $t_м$ и представляем ее в виде семейства вольт-амперных характеристик (ВАХ) для различных температур рабочего диапазона (рис. 2).

2. Подключаем в контур гетеродина один варикап - $Д_1$ (см.рис. 1) и снимаем, как показано на рис. 2 (кривая 1), зависимость $C_в = f(U_{аб})$, фиксируя значения емкости варикапа $C_в$ с помощью отсчетного устройства прибора.

3. Для цепи $б-а-в-г$ справедливо соотношение

$$i = \frac{U_{бг} - U_{ав}}{R_1} = -\frac{1}{R_1} U_{ав} + \frac{U_{бг}}{R_1}, \qquad (2)$$

Выражение (2) на рис. 2 представляется прямой линией, которую можно назвать нагрузочной прямой. Если менять величину R_1 при постоянном значении $U_{бг}$, то нагрузочная прямая будет вращаться вокруг

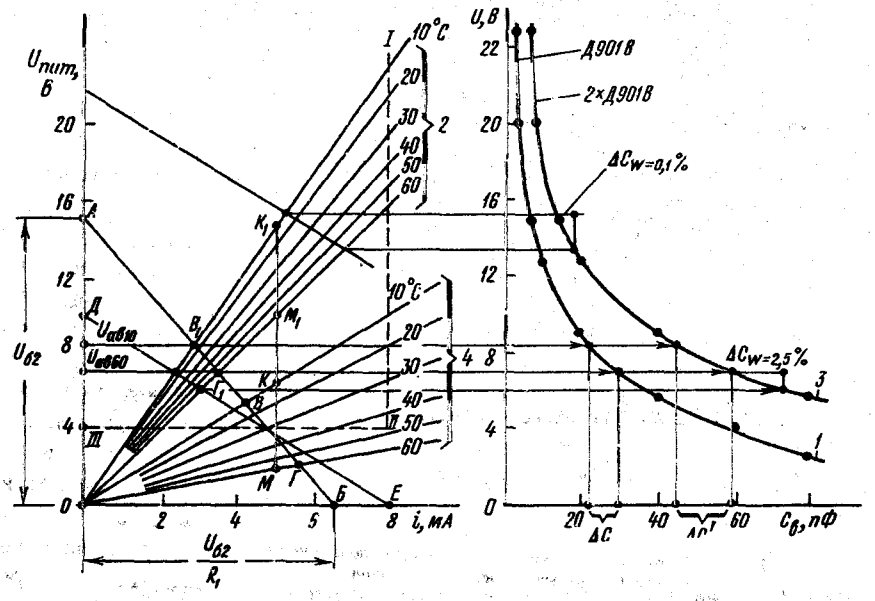


Рис. 2. Графический расчет схемы термокомпенсации
1 и 3 – характеристики варикапов; 2 и 4 – семейства вольт-амперных характеристик

точки А: она будет вертикальна при $R_1 = 0$ и горизонтальна при $R_1 = \infty$. При изменении величины $U_{б2}$ и постоянном значении R_1 наклон нагрузочной прямой остается без изменения и прямая перемещается параллельно самой себе. Точки пересечения нагрузочной прямой с вольт-амперной характеристикой (например, В, Г при $R = 0$ и $В_1$ $Г_1$ при $R = 1{,}6$ кОм) назовем рабочими точками. Их координаты определяют величину тока в цепи (для $t_м = 10^{\circ}С$, $i = I_{10}$) и падение напряжения ($U_{а.в} = U_{а.в_{10}}$) при различных значениях сопротивления R. Величиной сопротивления R можно легко задать любой угол наклона ВАХ термистора, так как при последовательном соединении нелинейного и линейного сопротивлений через них протекает один и тот же ток, а падение напряжения складывается. При этом рабочие точки переместятся по нагрузочной прямой и займут положения $В_1Г_1$.

4. Обозначим на рис. 2 граничные условия работы схемы отрезками прямых I–II и II–III. Рабочие точки не должны перемещаться правее линии I–II (ограничение по току термистора) и ниже линии II–III (зона по напряжению, где варикап становится неуправляемым от напряжения смещения $U_{а.в}$, так как величина автосмещения может превышать управляющее напряжение $U_{а.в}$).

5. Произвольно меняя наклон ВАХ термистора (для удобства построения заметим, что при $I = \text{const}$ отрезок МК = $М_1К_1$ и т.д) и наклон нагрузочной прямой АБ, можно получить любой желаемый интервал и характер изменения напряжения смещения $U_{а.в}$ на варикапе и найти изменения его емкости. Для нагрузочной прямой АБ и семейства вольт-амперных характеристик 2 при изменении $t_м$ от 10 до 60°С емкость варикапа Д901-В меняется на величину $\Delta C = C_{в_{60}} - C_{в_{10}} = 6$ пФ, что соответствует ТКЕ = = 6/50 = 0,12 пФ/град.

Если в схему, показанную на рис. 1, подключить дополнительно второй варикап $Д_2$, то емкость в контуре при том же изменении $t_м$ меняется на величину $\Delta C' = (C'_{в60} - C'_{в10}) = 14$ пФ и ТКЕ = 14/50 = 0,28 пФ/град.

Заметим, что характеристика варикапа $Д_2$ может смещаться в нужном направлении параллельно оси напряжений при помощи резистора управления $R_у$.

Использование в схеме термокомпенсации двух варикапов предпочтительнее, так как это дает возможность получить заданный коэффициент в области больших управляющих напряжений, где суммарная характеристика варикапов 3 более линейна. Таким образом, получим почти линейный характер зависимости $C_в = f(t_м)$.

Температурную компенсацию вида $d\alpha_w/dt = war$ схема на рис. 1 обеспечивает путем дополнительного увеличения ТК α_w в зависимости от влажности исследуемого материала. Осуществляется это при помощи цепочки $д-б-г-е$, состоящей из R_2, стабилитрона $Д_3$ и датчика активного сопротивления исследуемого материала, сопротивление которого $R_д$ меняется в зависимости от влажности. Как видно из схемы на рис. 2, с уменьшением $R_д$ управление смещением на варикапе от термистора $R_т$ осуществляется в зоне более низких напряжений, а это значит, что с увеличением влажности ТК α_w растет, но не беспредельно. При определенной влажности (в нашем случае 2%) перераспределение напряжения на делителе $R_2 R_д$ будет таким, что падение напряжения на сопротивлении R_2 достигнет напряжения стабилизации стабилитрона. После этого напряжение на датчике $R_д$ остается постоянным, несмотря на дальнейшее увеличение влажности, и поэтому схема будет осуществлять компенсацию вида $d\alpha_w/dt = const$, но уже при повышенном ТК α_w. Расчет схемы для этого случая выполняется так.

1. Как и в предыдущем случае строим вольт-амперную характеристику термистора и характеристику $C_в = f(U_{аб})$.

2. Берем значение ТКЕ материала с влажностью, принятой на данной фабрике за оптимальную; для этого значения ТКЕ, считая его постоянным, рассчитываем цепочку $б-а-в-г$ по изложенной выше методике.

3. Строим вольт-амперную характеристику цепочки $б-г$ для $R_д = f(W)$ и цепочки $бв-вг$ (с учетом известных изменений $R_т$).

Эквивалентная ВАХ для зажимов $б-г$, полученная сложением ординат обоих ВАХ при одном и том же напряжении, изображена на рис. 3. Построение отдельных ВАХ и их сложение не показано.

4. На рис. 3 произвольно проводим нагрузочную линию АБ, учитывая, что отрезок БВ должен быть равен напряжению стабилизации стабилитрона $U_{ст}$ (или двух стабилитронов, соединенных последовательно). Напряжение, соответствующее отрезку БВ, равно напряжению стабилизации двух последовательно включенных стабилитронов Д811; для питания схемы термокомпенсации набран стандартный стабилизированный источник питания. Таким образом, получаем совершенно четкую картину изменения напряжения $U_{бг}$ в зависимости от влажности и температуры материала. Например, из рис. 3 видно, что если в датчике находилась испытуемая проба с $W = 2,5\%$ и $t = 60^{\circ}C$, а затем проба с $W = 0,1\%$ и $t = 10^{\circ}C$, то напряжение $U_{бг}$ изменяется от 9,5 до 22 В.

5. На рис. 2 из точки Д проводим нагрузочную прямую ДЕ для цепочки $б-а-в-г$. Положение точки Д определено из рис. 3 – это состояние схемы при измерении материала с влажностью, при которой ТКЕ наибольший. Положение точки Е определено по п.2.

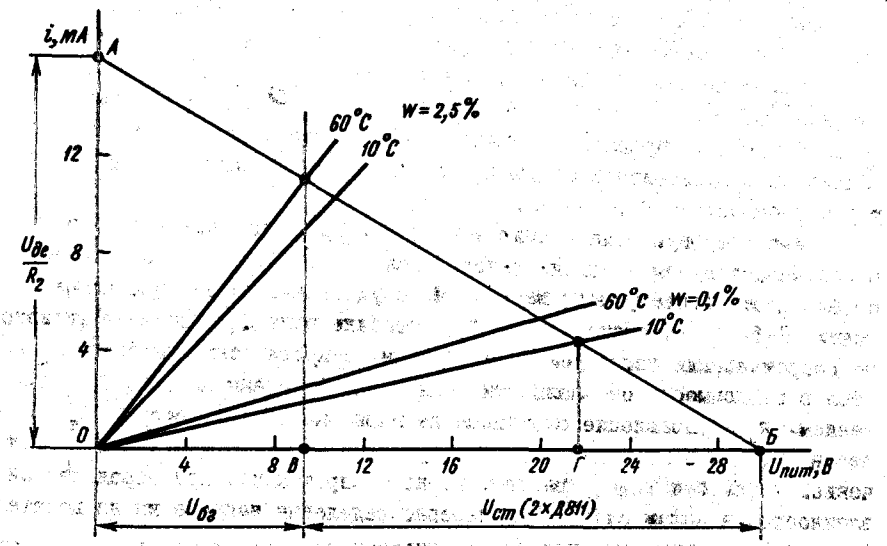


Рис. 3. К расчету схемы термокомпенсации

По нагрузочной прямой ДЕ и характеристике варикапа (варикапов), принятой за расчетную в п.2, определим ТКα_w. Если ТК$\alpha_w \neq 0{,}28$ (см. рис. 3), то его нужно сделать равным этой величине, изменяя наклон вольт-емперных характеристик 2 (при этом в рассчитанных ранее параметрах схемы на рис. 1 изменится лишь величина сопротивления R).

При достижении удовлетворительного ТКα_w для $W_1 = 2{,}5\%$ уточняем ТКα_w для $W = 0{,}1\%$ путем параллельного переноса линии ДЕ на величину, соответствующую изменению напряжения (определено рис. 3 в виде отрезка ОГ).

Необходимо отметить, что при такой методике расчета полное совпадение ТКα_w с ТКЕ получается в зоне влажности по п.2 и на больших влажностях, а значение ТКα_w на малых влагах определяется разбросом сопротивления $R_д$ (см. рис. 3). Поэтому надо выбрать оптимальное соотношение ТКα_{max} и ТКα_{min}.

При сопоставлении расчетных управляющих напряжений на варикапе ($U_{аз}$) с их действительными значениями, полученными при реализации схемы на рис. 1 в конкретной влагометрической системе, прошедшей испытания на комбинате "Апатит", была получена сходимость $\pm 0{,}1$ В.