

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано для измерения износа силовых трансформаторов.

Известно устройство для измерения ресурса, работы силовых трансформаторов (А.с. СССР №625168, опубл. 1978), содержащее тепловую модель наиболее нагретой точки обмотки с многоконтактным термометром на выходе, счетчик электрической энергии, автотрансформатор, причем токовая обмотка счетчика подключена к выводам автотрансформатора через контакты реле, управляемых термометром, а обмотка напряжения подключена параллельно обмотке автотрансформатора, соединенного с источником стабилизированного напряжения.

Недостатками данного устройства является низкая точность в определении рабочего ресурса силовых трансформаторов, а также небольшие функциональные возможности, поскольку устройство позволяет оценить рабочий ресурс только обмотки силового трансформатора, в то время как ресурс вводов трансформатора, от надежности работы которых зависит надежность работы всего трансформатора, не определяется.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является устройство для измерения износа силовых трансформаторов (А.с. СССР №691787, опубл. 1979), содержащее измерительный трансформатор тока, установленный в фазе силового трансформатора и соединенный через функциональный преобразователь со вторым входом сумматора, первый вход которого подключен к датчику температуры верхних слоев трансформаторного масла через преобразователь температуры в напряжение, выходы сумматора через n пороговых элементов соединены со входами генератора импульсов, управляющий вход которого подключен к выходу блока управления, а выход соединен со счетчиком импульсов.

Главным недостатком данного устройства является также низкая точность в измерении износа силового трансформатора, ограниченная некоторым числом пороговых элементов. При увеличении общего количества пороговых элементов растут аппаратные затраты, в то время как надежность устройства в целом снижается. Кроме того, данное устройство позволяет определять лишь только тепловой износ изоляции обмоток силового трансформатора, а рабочий ресурс вводов, от которых существенно зависит рабочий ресурс силового трансформатора, не определяется.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования устройства для измерения износа силовых трансформаторов, в которое вводится ряд блоков и соответствующих связей, что позволяет измерять рабочий ресурс не только обмоток силового трансформатора, но и высоковольтного ввода и за счет этого расширяются функциональные возможности устройства.

Поставленная задача достигается тем, что в устройство для измерения износа силовых трансформаторов, содержащее датчик температуры верхних слоев трансформаторного масла (в дальнейшем - первый датчик температуры), преобразователь температуры в напряжение (в дальнейшем - первый преобразователь температуры в напряжение), сумматор (в дальнейшем - первый сумматор), измерительный трансформатор тока (в дальнейшем - датчик тока), преобразователь тока в постоянное напряжение, генератор импульсов (в дальнейшем - первый генератор импульсов), счетчик импульсов (в дальнейшем - первый счетчик импульсов), первый пороговый элемент (в дальнейшем - первый компаратор), второй пороговый элемент (в дальнейшем - второй компаратор), причем выход первого датчика температуры через первый преобразователь температуры в напряжение подключен к первому входу первого сумматора, со вторым входом которого соединен датчик тока через преобразователь тока в напряжение, выход первого генератора импульсов подключен ко входу первого счетчика импульсов дополнительно снабжено датчиками температуры, напряжения и давления, преобразователем температуры в постоянное напряжение, преобразователем переменного в постоянное напряжение, преобразователем давления в постоянное напряжение, дифференциальным усилителем, устройством "выборки-хранения" (УВХ), источником опорного напряжения, четырьмя функциональными преобразователями, четырьмя масштабирующими усилителями, аналоговым и цифровым сумматорами, блоком умножения, аналого-цифровым преобразователем (АЦП), генератором импульсов, двумя логическими элементами И, двумя счетчиками импульсов, дешифратором, цифроаналоговым преобразователем (ЦАП), RS-триггером, блоком установки нуля, тремя индикаторами, логическим элементом ИЛИ, двумя регистрами, цифровым компаратором, блоком задания ресурса, причем выход второго датчика температуры через второй преобразователь температуры в постоянное напряжение соединен с первым входом дифференциального усилителя, второй вход которого подключен к выходу источника опорного напряжения, выход дифференциального усилителя через первый масштабирующий усилитель соединен с первым входом блока умножения, второй вход которого подключен к выходу второго сумматора, а выход соединен с аналоговым входом АЦП, управляющий вход которого подключен ко второму выходу дешифратора, входная цифровая шина которого соединена с цифровой выходной шиной первого счетчика импульсов, а первый выход подключен к управляющему входу УВХ, ко входу которого подсоединен выход датчика напряжения через преобразователь переменного напряжения в постоянное, выход УВХ подключен ко входам первого, второго и третьего функциональных преобразователей, выходы которых в свою очередь соединены через второй, третий и четвертый масштабирующие усилители соответственно с первым, вторым и третьим входами второго сумматора, выходная цифровая шина АЦП подключена к первой входной цифровой шине цифрового сумматора, вторая входная цифровая шина которого соединена с выходной цифровой шиной второго регистра, входная цифровая шина которого и первая входная цифровая шина цифрового компаратора подключены к выходной цифровой шине первого регистра, входная цифровая шина которого соединена с выходной цифровой шиной цифрового сумматора, управляющий вход первого регистра подключен к третьему выходу дешифратора, четвертый выход которого соединен с управляющим входом второго регистра, выходная цифровая шина блока задания ресурса подключена ко второй входной цифровой шиной цифрового компаратора, выход которого соединен со входом первого индикатора и с первым входом элемента ИЛИ, выход которого подключен к цепям сигнализации, а второй вход и вход второго индикатора соединены с выходом второго элемента И, n -входов которого подключены соответственно к выходам n -разрядов третьего счетчика импульсов, установочный вход которого соединен с

выходом блока установки нуля, а счетный вход и вход второго счетчика импульсов подключены к выходу первого элемента И, первый вход которого соединен с выходом второго генератора импульсов, а второй вход подключен к выходу RS-триггера, S-вход которого и установочный вход второго счетчика импульсов соединен с четвертым выходом дешифратора, а R-вход RS-триггера подключен к выходу первого компаратора, первый вход которого соединен с выходом четвертого функционального преобразователя, вход которого подключен к выходу первого сумматора, выходная цифровая шина второго счетчика импульсов соединена со входной цифровой шиной ЦАП, выход которого подключен ко второму входу первого компаратора, выход датчика давления через преобразователь давления в постоянное напряжение соединен со входом второго компаратора, выход которого подключен ко входу третьего индикатора и к третьему входу элемента ИЛИ, установочные входы первого счетчика импульсов, а также первого и второго регистров соединены с выходом блока установки нуля.

Устройство для измерения износа силовых трансформаторов поясняется чертежом (фиг.), на котором изображена его структурная схема.

На схеме: 1 - второй датчик температуры; 2 - второй преобразователь температуры в постоянное напряжение; 3 - дифференциальный усилитель; 4 - первый масштабирующий усилитель; 5 - источник опорного напряжения; 6 - датчик напряжения; 7 - преобразователь переменного напряжения в постоянное; 8 - УВХ; 9, 10, 11 - первый, второй и третий функциональные преобразователи; 12, 13, 14 - второй, третий и четвертый масштабирующие усилители; 15 - второй сумматор, 16 - блок умножения; 17 - АЦП; 18 - цифровой сумматор; 19 - первый регистр; 20 - блок задания ресурса; 21 - цифровой компаратор; 22 - первый индикатор; 23 - второй регистр; 24 - первый генератор импульсов; 25 - первый счетчик импульсов; 26 - дешифратор; 27 - первый датчик температуры; 28 - датчик тока; 29 - первый преобразователь температуры в напряжение; 30 - преобразователь тока в постоянное напряжение; 31 - первый сумматор; 32 - четвертый функциональный преобразователь; 33 - первый компаратор; 34 - RS-триггер; 35 - второй генератор импульсов; 36 - первый логический элемент И; 37 - второй счетчик импульсов; 38 - ЦАП; 39 - логический элемент ИЛИ; 40 - блок установки нуля; 41 - третий счетчик импульсов; 42 - второй логический элемент И; 43 - второй индикатор; 44 - датчик давления; 45 - преобразователь давления в постоянное напряжение; 46 - второй компаратор; 47 - третий индикатор, причем выход второго датчика температуры 1 через второй преобразователь температуры в постоянное напряжение 2 соединен с первым входом дифференциального усилителя 3, второй вход которого подключен к выходу источника опорного напряжения 5, выход дифференциального усилителя 3 через первый масштабирующий усилитель 4 соединен с первым входом блока умножения 16, второй вход которого подключен к выходу второго сумматора 15, а выход соединен с аналоговым входом АЦП 17, управляющий вход которого подключен ко второму входу дешифратора 26, входная цифровая шина которого соединена с цифровой выходной шиной первого счетчика импульсов 25, а первый выход подключен к управляющему входу УВХ 8, ко входу которого подсоединен выход датчика напряжения 6 через преобразователь переменного напряжения в постоянное 7, выход УВХ 8 подключен ко входам первого 9, второго 10 и третьего 11 функциональных преобразователей, выходы которых в свою очередь соединены через второй 12, третий 13 и четвертый 14 масштабирующие усилители соответственно с первым, вторым и третьим входами второго сумматора 15, выходная цифровая шина АЦП 17 подключена к первой входной цифровой шине цифрового сумматора 18, вторая входная цифровая шина которого соединена с выходной цифровой шиной второго регистра 23, входная цифровая шина которого и первая входная цифровая шина цифрового компаратора 21 подключены к выходной цифровой шине первого регистра 19, входная цифровая шина которого соединена с выходной цифровой шиной цифрового сумматора 18, управляющий вход первого регистра 19 подключен к третьему выходу дешифратора 26, четвертый выход которого соединен с управляющим входом второго регистра 23, выходная цифровая шина блока задания ресурса 20 подключена ко второй входной цифровой шине цифрового компаратора 21, выход которого соединен со входом первого индикатора 22 и с первым входом элемента ИЛИ 39, выход которого подключен к цепям сигнализации, а второй вход и вход второго индикатора 43 соединены с выходом второго элемента И 42, n-входы которого подключены соответственно к выходам n-разрядов третьего счетчика импульсов 41, установочный вход которого соединен с выходом блока установки нуля 40, а счетный вход и вход второго счетчика импульсов 37 подключены к выходу первого элемента И 36, первый вход которого соединен с выходом второго генератора импульсов 35, а второй вход подключен к выходу RS-триггера 34, S-вход которого и установочный вход второго счетчика импульсов 37 соединены с четвертым выходом дешифратора 26, а R-вход RS-триггера подключен к выходу первого компаратора 33, первый вход которого соединен с выходом четвертого функционального преобразователя 32, вход которого подключен к выходу первого сумматора 31, выход первого датчика температуры 27 через первый преобразователь температуры в постоянное напряжение 29 соединен с первым входом первого сумматора 31, ко второму входу которого подключен выход датчика тока 28 через преобразователь тока в постоянное напряжение 30, выходная цифровая шина второго счетчика импульсов 37 соединена со входной цифровой шиной ЦАП 38, выход которого подключен ко второму входу первого компаратора 33. выход датчика давления 44 через преобразователь давления в постоянное напряжение 45 соединен со входом второго компаратора 46, выход которого подключен ко входу третьего индикатора 47 и к третьему входу элемента ИЛИ 39, выход первого генератора импульсов 24 соединен со входом первого счетчика импульсов 25, установочный вход которого и установочные входы первого 19 и второго 23 регистров подключены к выходу блока установки нуля 40.

Предложенное устройство работает следующим образом.

При подаче питающего напряжения на схему блок установки нуля 40 вырабатывает импульс, который устанавливает первый 25 и третий 41 счетчики импульсов, а также первый 19 и второй 23 регистры в нулевое положение. Одновременно начинают вырабатывать импульсы первый 24 и второй 35 генераторы импульсов. На выходе источника опорного напряжения 5 появляется установившееся значение напряжения. Для измерения износа силового трансформатора датчики устройства распределены по объекту следующим образом: первый датчик температуры 27 установлен на баке силового трансформатора и предназначен для

измерения температуры наиболее нагретой точки верхних слоев трансформаторного масла. Датчик тока 28 установлен в цепи вторичной обмотки силового трансформатора. Эти два датчика позволяют осуществить оценку рабочего ресурса обмоток силового трансформатора. Второй датчик температуры 2 и датчик давления 44 установлены на высоковольтном вводе и позволяют оценить рабочий ресурс высоковольтного ввода силового трансформатора. Датчик напряжения 6 предназначен для измерения значения напряжения в электрической сети.

Согласно управлению Монцингера, которое принято в качестве закона старения изоляции обмоток,

$$L = L_0 \cdot e^{\alpha \theta} - L_0 \cdot e^{\alpha(\theta_T + \theta_M)} \quad (1)$$

где L - длительность "жизни" изоляции;

L_0 - срок службы изоляции, соответствующий постоянной температуре, принятой в качестве нормированной, - нормативный срок службы обмоток силового трансформатора;

α - коэффициент, учитывающий изменение срока службы изоляции при изменении температуры 9 наиболее нагретой точки изоляции обмоток;

θ_T - превышение температуры наиболее нагретой точки изоляции над температурой масла;

θ_M - температура масла.

Превышение температуры обмотки θ_T , учитывая возможность пренебрежения ее постоянной времени нагрева, можно представить в виде

$$\theta_T = \beta' \cdot \tau_n \cdot K^n \quad (2)$$

где β' - коэффициент, учитывающий разность температур между средней и наиболее нагретой точками обмоток;

τ_n - установившийся средний перегрев обмотки над температурой масла в номинальном режиме;

K - кратность тока нагрузки трансформатора;

n - коэффициент, зависящий от системы охлаждения трансформатора.

В соответствии с уравнением (1) мгновенное старение изоляции трансформатора определяется экспоненциальной функцией со степенью, равной сумме $(\theta_T + \theta_M)$.

Тогда суммарное значение износа обмоток силового трансформатора за некоторый промежуток времени определится как

$$R = m \int_0^t e^{\alpha(\theta_T + \theta_M)} dt \quad (3)$$

где m - масштабный коэффициент.

Для высоковольтных вводов силового трансформатора с бумажно-масляной изоляцией процесс старения такой изоляции происходит при длительном воздействии начальных частичных разрядов (ЧР) вследствие медленного разложения масла и накопление в ней побочных продуктов, в частности водорода и других газов. При таком процессе старения рост концентрации газа ΔC_G в масле во времени Δt происходит в соответствии с выражением:

$$\Delta C_G = \gamma \cdot P_H(t) \cdot \Delta t / V_M \quad (4)$$

где γ - удельное газовыделение, т.е. объем газа, выделяющегося от разложения масла при рассеянии в ЧР единицы энергии ($\text{см}^3/\text{Дж}$);

V_M - полный объем масла во вводе;

$P_H(t)$ - средняя мощность начальных ЧР (Вт) в момент времени t .

До момента времени t концентрация газов, выделяющихся из масла в высоковольтном вводе:

$$C_G(t) = \int_0^t \frac{\gamma \cdot P_H(t)}{V_M} dt \quad (5)$$

Средняя мощность P_H начальных ЧР в основном зависит от фазного напряжения U и определяется по выражению:

$$P_H(t) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot U^{\beta_i}(t) \quad (6)$$

где α_i , β_i - коэффициенты аппроксимации, k - число членов аппроксимирующего полинома. В данном устройстве в качестве примера значение $k = 3$.

Тогда

$$C_G(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^k \frac{\gamma \cdot \alpha_i}{V_M} U^{\beta_i}(t) dt \quad (7)$$

Полный объем масла во вводе можно рассчитать по формуле

$$V_M = V_{M.H.} + \Delta V \quad (8)$$

где $V_{M.H.}$ - полный объем масла во вводе в номинальном рабочем режиме,

$$\Delta V = V_{M.H.} \cdot \alpha_T (T - T_H) = V_{M.H.} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \quad (9)$$

где α_T - температурный коэффициент объемного расширения масла.

T - текущая температура масла во вводе,

T_H - температура масла во вводе в номинальном рабочем режиме.

Приблизительно можно считать

$$\Delta T = T - T_H \approx T_\phi - T_{\phi.H.} \quad (10)$$

где T_{ϕ} - текущая температура фарфора ввода.

$T_{\phi,н}$ - текущая температура фарфора ввода в номинальном рабочем режиме.

Из (8), (9), (10) получаем

$$V_{м} = V_{м,н} [1 + \alpha_T (T_{\phi} - T_{\phi,н})] \quad (11)$$

Подставляя (11) в (7), получим

$$C_T(t) = \int_0^t \frac{\gamma}{V_{м,н} [1 + \alpha_T (T_{\phi} - T_{\phi,н})]} \times \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot U^{\beta_i}(t) dt \quad (12)$$

Таким образом, следя за значением C_T до значения насыщенной концентрации газов $C_{г,н}$ можно определять ресурс высоковольтного ввода по параметрам, согласно выражения (12). Кроме того, при сильных газовойделениях избыточное давление во вводе увеличивается. Поэтому целесообразно контролировать давление во вводе с учетом момента достижения его допустимого значения.

При измерении рабочего ресурса обмоток силового трансформатора сигналы с первого датчика температуры 27 и датчика тока 28 через преобразователя 29 и 30 подаются на входы первого сумматора 31. При этом на его выходе появляется сигнал, пропорциональный $(\theta_T + \theta_M)$. Если RS-триггер 34 установлен в единичное состояние, то первый логический элемент И 36 открыт и импульсы с выхода второго генератора 35 поступают на вход второго счетчика импульсов 37, с выхода которого сигналы по цифровой шине подаются на вход ЦАП 38 и с его выхода линейно возрастающий аналоговый сигнал поступает на второй вход первого

компаратора 33, на первый вход которого поступает сигнал, пропорциональный $e^{\alpha(\theta_T + \theta_M)}$, с выхода четвертого функционального преобразователя 32, осуществляющего преобразование входного сигнала по экспоненциальному закону. Если сигналы на входах первого компаратора 33 сравниваются, то на его выходе появляется сигнал логической единицы, который переводит RS-триггер 34 в нулевое состояние, элемент И 36 закрывается и подаче импульсов от генератора 35 в счетчик 37 прекращается. С приходом очередного импульса с четвертого выхода дешифратора 26 происходит сброс второго счетчика импульсов 37 и установка в единичное состояние RS-триггера 34. Цикл работы при этом повторяется. В период, когда открыт первый логический элемент И 36, импульсы с его выхода поступают также в третий счетчик импульсов 41 и фиксируются в нем как ресурс работы изоляции обмоток трансформатора за период, начиная со времени t_1 , (когда открывается элемент И 36, и до времени t_2 , когда закрывается элемент И 36, в виде интеграла

$$\int_{t_1}^{t_2} e^{\alpha(\theta_T + \theta_M)} dt$$

Вычисляя сумму интегралов в виде суммы импульсов, поступающих в счетчик 41 в каждом цикле работы блоков устройства, можно определить полный рабочий ресурс изоляции обмоток трансформатора. В устройстве этот момент фиксируется путем заполнения импульсами счетчика 41. При этом на выходе второго логического элемента И 42 появляется сигнал логической единицы, который включает второй индикатор 43. Кроме того, с выхода элемента И 42 сигнал через элемент ИЛИ 39 поступает в цепи сигнализации, предупреждая оперативный персонал, обслуживающий трансформатор, об исчерпании рабочего ресурса обмоток последнего.

При измерении рабочего ресурса высоковольтного ввода сигнал с выхода второго датчика температуры 1, пропорциональный T_{ϕ} , через преобразователь температуры в постоянное напряжение 2 поступает на первый вход дифференциального усилителя 3, на второй вход которого подается сигнал, пропорциональный $T_{\phi,н}$. Если $T_{\phi} > T_{\phi,н}$, то на выходе дифференциального усилителя 3 появляется сигнал, который с выхода первого масштабирующего усилителя 4 в виде

$$\frac{\gamma}{V_{м,н} [1 + \alpha_T (T_{\phi} - T_{\phi,н})]}$$

поступает на первый вход блока умножения 16.

С выхода датчика напряжения 6 сигнал через преобразователь переменного напряжения в постоянное 7 подается на вход УВХ 8. В момент, когда на первом выходе дешифратора 26, управляемого первым счетчиком импульсов 25, появляется импульс, то это значение напряжения запоминается в УВХ 8 и с выхода подается на входы первого 9, второго 10 и третьего 11 функциональных преобразователей, где происходит вычисление значений $U^{\beta_i}(t)$ (в данном случае $i = 1, 2, 3$). С выходов функциональных преобразователей 9, 10 и 11 сигналы поступают на соответствующие входы второго 12, третьего 13 и четвертого 14 масштабирующих усилителей, в которых производится умножение входного сигнала на коэффициент α_i ($i = 1, 2, 3$). Далее с выходов масштабирующих усилителей 12, 13, 14 сигналы подаются на соответствующие входы второго сумматора 15, с выхода которого сигнал, пропорциональный выражению

$$\sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot U^{\beta_i}(t)$$

поступает на второй вход блока умножения 16 выходной сигнал которого подается на аналоговый вход АЦП 17. При появлении импульса на управляющем входе АЦП 17 со второго выхода дешифратора 26 происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой в АЦП 17. При этом его выходной сигнал по цифровой шине поступает на первый вход цифрового сумматора 18. В первый момент времени первый 19 и второй 23

регистры обнулены, поэтому на выходе цифрового сумматора 18 будет цифровой сигнал, равный входному, который при появлении импульса на третьем выходе дешифратора 26 записывается в первый регистр 19 - регистр рабочего ресурса ввода трансформатора.

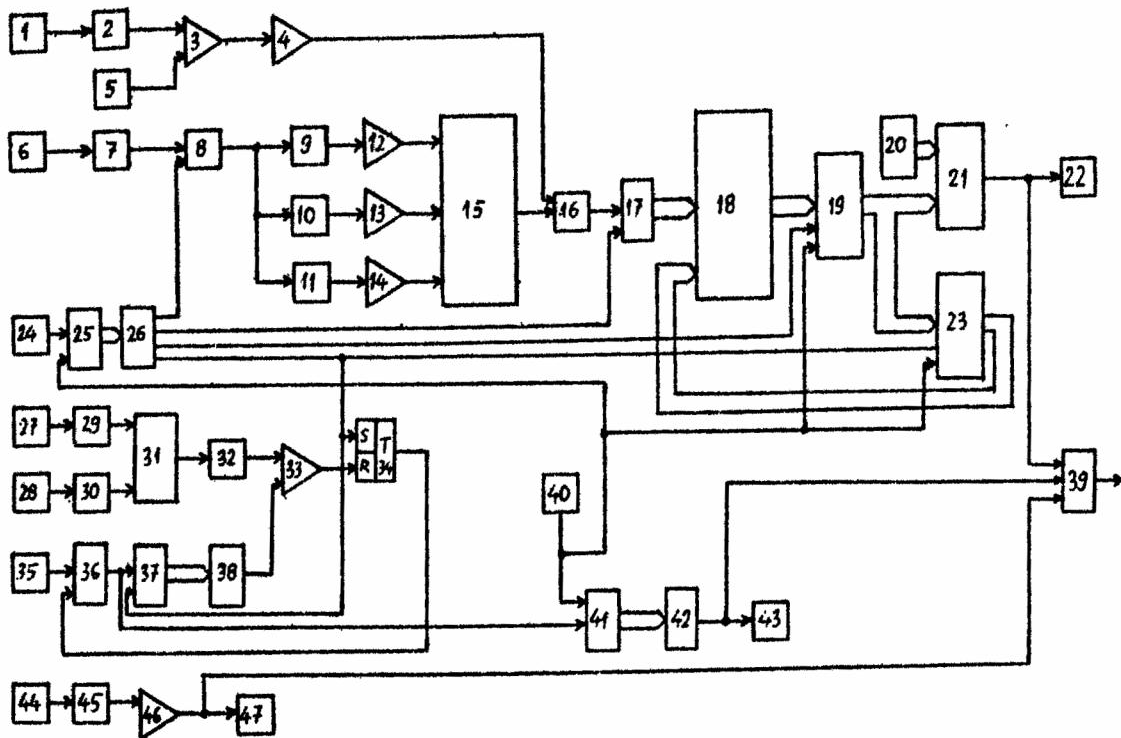
При появлении импульса на четвертом выходе дешифратора 26 сигнал с выхода второго регистра 19 по цифровой шине записывается во второй регистр 23. В описанном цикле работы блоков устройства определяется рабочий ресурс ввода трансформатора, соответствующий выражению

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{\gamma}{V_{\text{м.н.}} [1 + \alpha_T (T_{\phi} - t_{\phi.н.})]^x} \times \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot U^{\beta_i}(t) dt$$

за период $[t_1; t_2]$ (в первом цикле $t_1 = 0$) в пересчете на уровень концентрации газов при возникновении ЧР. Во втором и последующих циклах работы блоков устройства в цифровом сумматоре 18 происходит сложение текущего значения рабочего ресурса ввода с суммарным ресурсом, вычисленным во всех предыдущих циклах и записанным во втором регистре 23.

В блоке задания ресурса 20 записан цифровой код, соответствующий насыщенной концентрации газов $C_{г.н.}$, по которой определяется полный рабочий ресурс ввода трансформатора. Если цифровой код, записанный в первый регистр 19, подаваемый по цифровой шине в цифровой компаратор 21, совпадает цифровым кодом, записанным в блоке задания ресурса 20, что соответствует исчерпанию рабочего ресурса вводов, то на выходе цифрового компаратора 21 появляется сигнал логической единицы, который включает первый индикатор 22 и через логический элемент ИЛИ 39 поступает в цепи сигнализации.

Для контроля допустимого давления масла во вводе используется датчик давления 44, сигнал с выхода которого через преобразователь давления в постоянное напряжение 45 подается на вход второго компаратора 46, выходной сигнал которого появляется лишь только в случае, если давление во вводе превышает допустимое. При этом включается третий индикатор 47, а также цифровой сигнал подается через элемент ИЛИ 39 в цепи сигнализации. Следует отметить, что частота следования импульсов первого генератора 24 должна быть намного меньше частоты следования импульсов генератора 35.



Фиг.