

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.317.715 (088.8)

В. И. КАРЛАЩУК
 (Москва)

**О КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ
 С ФОТОГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКИМИ УСИЛИТЕЛЯМИ**

Преобладающее большинство устройств с фотогальванометрическими усилителями (фотогальванометрами) представляют собой приборы компенсационного типа [1]. Улучшение эксплуатационных характеристик этих устройств связано с увеличением глубины отрицательной обратной связи (ООС). Однако увеличение глубины ООС приводит к уменьшению запаса устойчивости устройства. Ниже рассматривается схема частотной коррекции [2], позволяющая повысить степень успокоения и тем самым повысить запас устойчивости устройства.

Для пояснения сущности предлагаемой коррекции обратимся к рис. 1, где показана схема фотогальванометрического компенсатора с корректирующей rLC -цепью, подключенной параллельно сопротивлению r_k обратной связи; r_n — сопротивление нагрузки; r_r — сопротивление рамки гальванометра; U_x и r_x — напряжение и внутреннее сопротивление контролируемого источника напряжения.

Известное выражение передаточной функции $K(p)$ компенсатора без коррекции [1] легко привести к виду

$$K(p) = \frac{1}{\frac{1}{K_I \eta} \left(\frac{p^2}{\omega_0^2} + 2\beta \frac{p}{\omega_0} + 1 \right) (pT_\Phi + 1) + 1},$$

где K_I , ω_0 , β — коэффициент усиления по току, резонансная частота и степень успокоения фотогальванометра; T_Φ — постоянная времени преобразователя на фоторезисторах; $\eta = r_k / (r_k + r_r + r_x)$ — коэффициент передачи звена обратной связи.

Включение корректирующего последовательного резонансного контура в цепь ООС приводит к изменению η^* :

$$\eta_k = \eta \frac{p^2 / \omega_k^2 + d_1 p / \omega_k + 1}{p^2 / \omega_k^2 + (d_1 + d_2) \frac{p}{\omega_k} + 1},$$

где $d_1 = \omega_k r C$ — собственное затухание контура; $\omega_k = 1 / \sqrt{LC}$ — резонансная частота контура; $d_2 = \omega_k r_k C (r_x + r_r) / (r_x + r_r + r_k)$ — дополнительное, вносимое в контур затухание.

* Вообще-то говоря, включение контура в изображенной на рис. 1. схеме повлияет и на коэффициент усиления фотогальванометра по току K_I . Однако этого можно избежать либо включением специального развязывающего устройства, либо путем наложения ограничений на пределы изменения r_n и r_x , что и делают на практике. (Примечание ред.)

Соответственно передаточная функция $K_k(p)$ компенсатора с коррекцией принимает вид

$$K_k(p) = \frac{1}{\frac{1}{K_I \eta} \frac{(p^2/\omega_0^2 + 2\beta p/\omega_0 + 1) [p^2/\omega_k^2 + (d_1 + d_2) p/\omega_k + 1] (pT_\Phi + 1)}{p^2/\omega_k^2 + d_1 p/\omega_k + 1}}$$

Выбрав параметры контура из условий $\omega_k = \omega_0$ и $d_1 = 2\beta$, получим увеличение степени успокоения на величину $d_2/2$:

$$K_k(p) = \frac{1}{\frac{1}{K_I \eta} \left[p^2/\omega_0^2 + p \frac{2}{\omega_0} (\beta + d/2) + 1 \right] (pT_\Phi + 1) + 1}$$

Рассмотрим экспериментальные результаты, полученные на макете фотокомпенсатора, выполненного на фотогальванометре Ф117/4 по схеме на рис. 1. В процессе экспериментов снимались зависимости емкости конденсатора C от сопротивления резисторов d_x и r_k , причем для обеспечения нормальной работы фотогальванометра суммарное сопротивление резисторов r_k и r_n сохранялось постоянным и в соответствии с паспортными требованиями равнялось 3 кОм. В качестве L использовалась катушка индуктивностью 20 Г и активным сопротивлением 35 Ом (одна из обмоток силового трансформатора ТАН-138), в качестве C использовались электролитические конденсаторы К-50-6. Фиксация момента самовозбуждения или срыва автоколебаний осуществлялась с помощью осциллографа, подключаемого к выходной диагонали фотокомпенсатора. Попутно следует отметить, что применение в качестве индикатора магнитоэлектрического прибора в некоторых случаях приводит к ухудшению устойчивости фотокомпенсатора.

Порядок проведения каждого опыта в одном случае был таков: при выбранных r_x и r_k устройство самовозбуждалось, затем к r_k подключался LC-контур и емкость C менялась до тех пор, пока не наступал срыв автоколебаний; во втором случае выбирались r_x и C и плавно увеличивалось r_k (с одновременным уменьшением r_n) до появления первых признаков самовозбуждения. При одинаковых r_x , r_k и r_n емкость C в первом случае оказывалась всегда больше, чем во втором. При этом устойчивая работа обеспечивалась при изменении ω_k в пределах от $0,5 \omega_0$ до $5 \omega_0$ (опыты при $\omega_k < 0,5 \omega_0$ не проводились).

Эффективность применения коррекции можно охарактеризовать отношением η_k/η , где η_k, η — допустимые коэффициенты обратной связи при наличии и отсутствии коррекции. На основании экспериментально полученных значений для допустимого сопротивления обратной связи r_k в компенсаторе без коррекции и $r_k = 3$ кОм в компенсаторе с коррекцией при данных r_x были рассчитаны значения η_k/η . Результаты расчета сведены в таблицу, откуда видно, что при наличии корректирующего LC-контура η_k удается увеличить во много раз. Следует отметить, что устойчивая работа фотокомпенсатора с коррекцией обеспечивается и при $r_k = \infty$, т. е. при $\eta_k = 1$, однако при этом, очевидно, могут наблюдаться некоторые отклонения параметров фотогальванометра от их паспортного значения.

В таблице приведены также значения емкости конденсатора C при различных r_x , которые были получены из условия начала самовозбуждения. Значения емкости C , соответствующей срыву автоколебаний, получаются в 5—10 раз больше, причем зависимость $C = f(r_x)$ обратная, т. е. при увеличении r_x емкость следует уменьшать. При малых r_x (менее 1 кОм) устранить самовозбуждение (срыв автоколебаний) не удается. Объясняется это, очевидно, тем, что с уменьшением r_x уменьшается коэффициент затухания d_2 , который определяет степень успокоения фотокомпенсатора с коррекцией.

$r_x, \text{кОм}$	$r_k, \text{Ом}$	η	η_k	η_k/η	$C, \text{мкФ}$
1	64	0,04	0,64	16	120
4	30	0,0065	0,39	60	250
15	15	0,001	0,16	160	400
28	11	0,0004	0,095	240	750
40	9	0,00022	0,069	320	1200

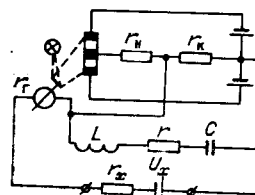


Рис. 1.

Кроме макета с фотогальванометром Ф117/4 опыты проводились и на втором макете фотокомпенсатора, выполненном на усилителе Ф117/3. Полученные результаты аналогичны рассмотренным выше.

В заключение проведем сравнение предложенного метода коррекции с известным [1], использующим дифференцирующие корректирующие звенья в цепи обратной связи фотокомпенсатора или в цепи прямого усиления. Поскольку в обоих случаях динамика фотокомпенсатора описывается практически одним и тем же уравнением, то для выяснения интересующего нас вопроса рассмотрим только схему с включением корректирующего звена (дифференцирующего конденсатора C_a) в цепь прямого усиления (рис. 2).

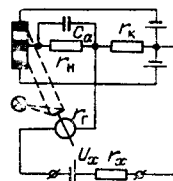


Рис. 2.

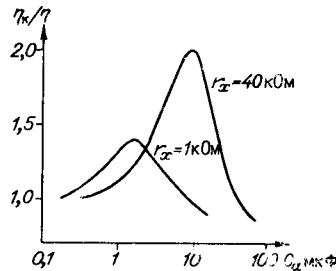


Рис. 3.

Расчеты показывают, что функция $K_d = f(C_a)$ где K_d — допустимый коэффициент усиления в петле ООС, имеет максимум. Этот факт подтверждается и экспериментальной зависимостью $\eta_k/\eta = f(C_a)$, которая по характеру аналогична зависимости $K_d = f(C_a)$.

Опыты проводились на устройствах с фотогальванометрами Ф117/4 и Ф117/3. Для удобства сравнения с предыдущими данными приведем результаты только для макета с усилителем Ф117/4.

Полученные функции $\eta_k/\eta = f(C_a)$ показаны на рис. 3, откуда видно, что в зависимости от сопротивления в цепи рамки фотогальванометра ($r_x = \text{var}$) значения при $\eta_{ka} = \text{const}$ получаются различными, причем с увеличением сопротивления r_x растет и C_a .

Последнее обстоятельство можно объяснить следующим образом. Расчеты с использованием экспериментальных данных показывают, что максимум в зависимости $K_d = f(C_a)$ наблюдается при значениях $T_4 = C_a(r_n || r_i)$, $T_5 = C_a r_n (r_i$ — выходное сопротивление фотогальванометра), в 1,5—2 раза меньших $1/\omega_3$, где ω_3 — резонансная частота фотогальванометра при замкнутой ООС. Но так как с ростом r_x значение η_k уменьшается, то в соответствии с [1] должна уменьшаться ω_3 и, следовательно, увеличиваться T_4 , T_5 или C_a (при постоянных r_n и r_i). Таким образом, применение дифференцирующего звена наиболее эффективно, когда его постоянные времени выбираются из условия $1/\omega_3 = (1,5 \div 2)T$. Такой вывод подтверждается и для фотокомпенсатора с усилителем Ф117/3.

Из сравнения данных таблицы и зависимостей, показанных на рис. 3, видно, что при одинаковых условиях работы компенсатора предложенная схема коррекции более чем на два порядка эффективнее схемы с дифференцирующим конденсатором.

В заключение следует отметить, что коррекция с применением последовательного LC-контура может быть осуществлена еще двумя способами: подключением этого контура параллельно рамке гальванометра или входу компенсатора. Опыты, однако, показывают, что эти два способа не имеют каких-либо преимуществ перед рассмотренным выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский, А. М. Мелик-Шахназаров, С. Г. Рабинович, Б. А. Селибер. Гальванометрические компенсаторы. М.—Л., «Энергия», 1964.
2. В. И. Карлашук. Фотогальванометрическое устройство для измерения малых электрических величин. Авторское свидетельство № 287 187.— ОИПОТЗ, 1970, № 35.

Поступило в редакцию
14 июля 1970 г.,
окончательный вариант —
9 февраля 1971 г.