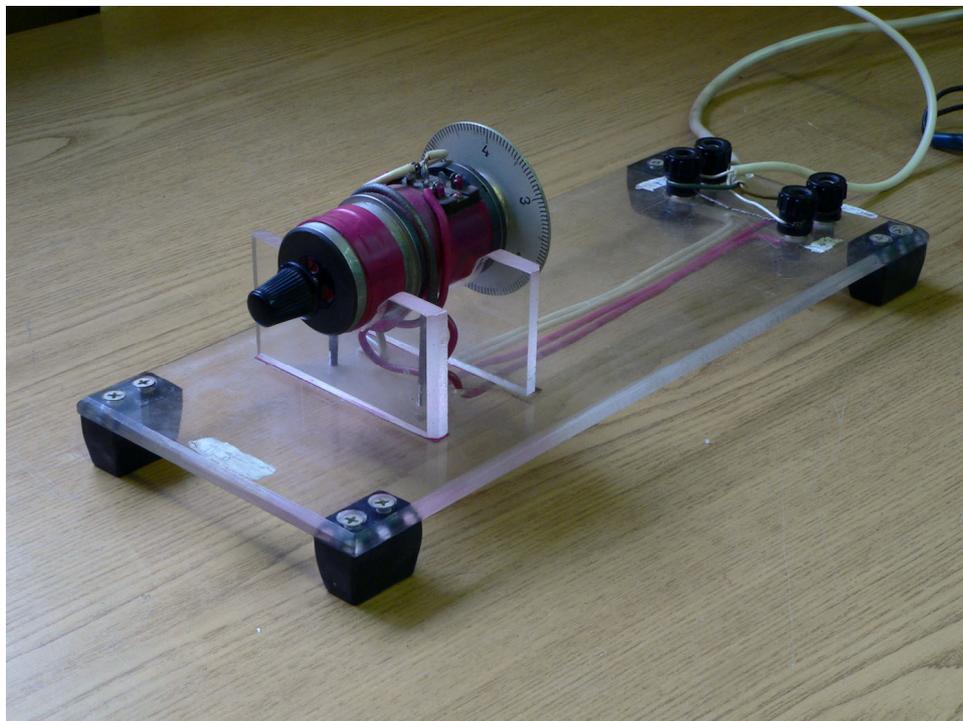


ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 2

«Исследование резольвера»

Цель работы: изучение принципов действия и характеристик резольверов (вращающихся трансформаторов), используемых в системах автоматического управления.



1. Теоретическая часть

Резольвер — это четырехобмоточная двух- и более полюсная электрическая машина с индукционным взаимодействием роторных и статорных обмоток. В зависимости от формы выходного сигнала различают синусно-косинусные, линейные и резольверы-построители. Для получения резольверов различных типов можно использовать одну и ту же машину с двумя обмотками на статоре и двумя на роторе при различных способах их включения. Конструктивно резольвер выполнен подобно асинхронному двигателю с фазным ротором, который, как и статор, представляет собой многополюсный сердечник из листов электротехнической стали или пермаллоя. В пазах ротора и статора размещены по две распределенные обмотки, сдвинутые на 90° одна относительно другой. В общем случае пазов может быть больше, чем полюсов. Концы обмоток выведены на разъем, причем статорные непосредственно, а роторные с помощью четырех токосъемных колец ротора и щеток. Выпускают также бесконтактные резольверы с подключением роторных обмоток посредством плоских пружин с углом поворота до 700° и резольверы со вспомогательными переходными трансформаторами.

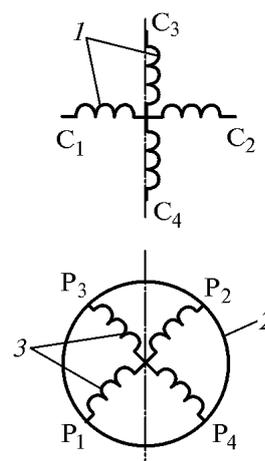


Рис. 2.1. Схема четырех обмоточного резольвера: 1 — статорные обмотки; 2 — ротор; 3 — роторные обмотки

В схеме резольвера (рис. 2.1) обмотки C_1, C_2 и C_3, C_4 называются главной и квадратурной обмотками статора, а P_1, P_2 и P_3, P_4 — синусной и косинусной обмотками ротора. При подключении обмотки возбуждения (главной обмотки резольвера) к сети переменного тока в машине возникает продольный магнитный поток $\Phi_{пр}$. Этот поток в обмотках ротора индуцирует две ЭДС $\mathcal{E}_{с0}$ и $\mathcal{E}_{к0}$, частоты которых равны частоте сети, а действующие значения зависят от положения ротора относительно статора. Каждая замкнутая обмотка резольвера эквивалентна магниту, представленному в виде пары полюсов.

В многополюсных машинах с p парами полюсов за один полный поворот ротора изменение магнитного поля (период изменения выходного сигнала) соответствует пространственному углу $360p^\circ$. Этот принцип, получивший название *электрической редукции*, позволяет существенно повысить точность резольвера. В соответствии с этим принципом фаза напряжения $U_{вых}$ меняется в p раз чаще, чем фаза угла поворота ротора. Величина $\theta_{эл}$ связана с углом поворота θ соотношением $\theta_{эл} = p\theta$.

При *синусно-косинусной* схеме выходные напряжения U_c и U_k определяются выражениями

$$U_c = k_c U_B \sin(\omega t + \alpha_1) \sin \theta; \quad U_k = k_k U_B \sin(\omega t + \alpha_2) \cos \theta,$$

где k_c, k_k — коэффициенты трансформации синусной и косинусной обмоток резольвера (равны отношению числа эффективных витков соответствующей роторной обмотки к числу эффективных витков статорной); $\omega = 2\pi f_B$ — круговая частота тока возбуждения резольвера; f_B — частота тока возбуждения; α_1, α_2 — фазовые сдвиги, связанные с погрешностями намоток.

Информационное преобразование резольвера описывается функцией вида $U = f(\theta)$. В режиме холостого хода $U_B = \mathcal{E}_B - IR_B \approx \mathcal{E}_B$, где R_B — сопротивление обмотки возбуждения статора. Тогда при $k_c = k_k = k$ напряжения на обмотках ротора равны соответствующим ЭДС:

$$U_{с0} = \mathcal{E}_{с0} = k\mathcal{E}_B \sin \theta; \quad U_{к0} = \mathcal{E}_{к0} = k\mathcal{E}_B \cos \theta.$$

ЭДС обмотки возбуждения \mathcal{E}_B зависит от магнитного потока в ней:

$$\mathcal{E}_B = 4,44 f_B N_B K_B \Phi_{пр},$$

где N_B, K_B — соответственно число витков в обмотке возбуждения и ее обмоточный коэффициент.

Реальный режим работы синусно-косинусного резольвера отличается от режима холостого хода. Если к синусной обмотке подключить нагрузку $Z_{нс}$, то по обмотке потечет ток

$$I_c = \mathcal{E}_c / (Z_c + Z_{нс}),$$

где Z_c — импеданс синусной обмотки.

В соответствии с формулой Гопкинсона, магнитодвижущая сила ротора, вызванная током синусной обмотки I_c , будет определяться выражением

$$F_c = \Phi_c R_{\mu c} = I_c N_c,$$

где Φ_c — магнитный поток, наводимый в цепи синусной обмотки; $R_{\mu c}$ — полное магнитное сопротивление синусной обмотки; N_c — число витков синусной обмотки ротора.

Поскольку направление этой магнитодвижущей силы совпадает с осью синусной фазы (рис. 2.2), ее можно представить в виде суммы двух составляющих (по отношению к потоку возбуждения статора Φ_B): продольной $F_{спр} = F_c \sin \theta$ и поперечной $F_{сноп} = F_c \cos \theta$.

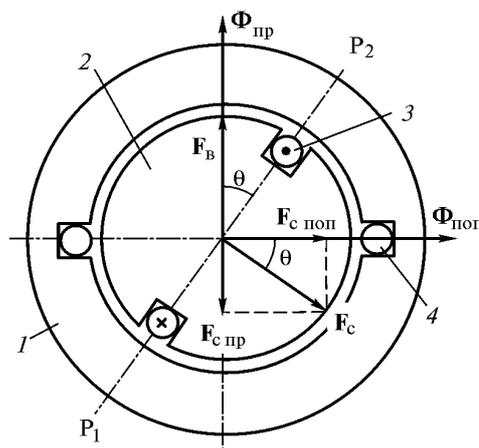


Рис. 2.2. Векторная диаграмма магнитодвижущих сил: 1 — статор; 2 — ротор; 3 — синусная обмотка; 4 — обмотка возбуждения

Продольная составляющая $F_{c\text{ пр}}$ ротора создает в обмотке возбуждения статора компенсирующий ток, магнитодвижущая сила F_B которого, как и в двухобмоточном трансформаторе, компенсирует ее действие. Результирующий продольный поток $\Phi_{\text{пр}} = \Phi_B - F_B / R_{\text{мс}}$ индуцирует в синусной обмотке ЭДС

$$\mathcal{E}_{c\text{ пр}} = k\mathcal{E}_c \sin \theta.$$

Вследствие размагничивающего действия силы F_B ЭДС обмотки возбуждения \mathcal{E}_B уменьшается, что приводит к снижению составляющей ЭДС синусной обмотки $\mathcal{E}_{c\text{ пр}} < \mathcal{E}_{c0}$.

Поперечная составляющая $F_{c\text{ поп}}$ создает в роторе *поперечный магнитный поток* $\Phi_{\text{поп}}$, относительно которого синусная обмотка является косинусной (см. рис. 2.2). В ней индуцируется ЭДС

$$\mathcal{E}_{c\text{ поп}} = 4,44 f_B N_c K_c \Phi_{\text{поп}} \cos \theta = C F_c \cos^2 \theta,$$

где K_c — коэффициент синусной обмотки; C — константа.

Таким образом, при нагрузке в синусной обмотке кроме ЭДС, пропорциональной синусу угла поворота, индуцируется составляющая, пропорциональная току нагрузки и квадрату косинуса угла поворота, которая существенно искажает синусный характер *функции преобразования*:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{c\text{ пр}} + \mathcal{E}_{c\text{ поп}} = k\mathcal{E}_B \sin \theta + C F_c \cos^2 \theta.$$

Эта составляющая ЭДС вызывает появление погрешности, которая тем больше, чем меньше $Z_{\text{нс}}$. Искажениям подвергаются как амплитуда, так и фаза сигнала \mathcal{E} , причем амплитудные искажения достигают 20 % от \mathcal{E}_c . Аналогично в косинусной обмотке индуцируется составляющая ЭДС, пропорциональная току нагрузки и квадрату синуса.

Для устранения амплитудных и фазовых искажений сигнала используют симметрирование синусно-

косинусного резольвера, которое заключается в компенсации поперечной составляющей потока реакции ротора. При первичном симметрировании к квадратурной обмотке статора $C_3 C_4$ подключают сопротивление $Z_{\text{кв}}$ (рис. 2.3, а). При питании резольвера от сети переменного тока, сопротивление которой принимают равным нулю, квадратурную обмотку закорачивают. При вторичном симметрировании к косинусной обмотке $P_3 P_4$ подключают сопротивление, равное по номиналу сопротивлению нагрузки (рис. 2.3, б). Магнитный поток в этой об-

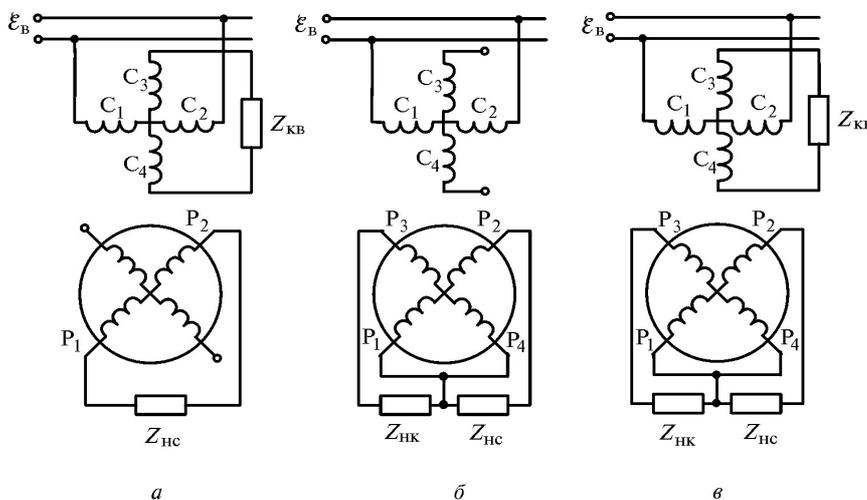


Рис. 2.3. Электрические схемы резольвера: при первичном (а); вторичном (б) и комбинированном (в) симметрировании

мотке ослабляет поток реакции, поскольку поперечные составляющие $F_{c\text{ поп}}$ и $F_{к\text{ поп}}$ направлены в противоположные стороны. Схема комбинированного симметрирования приведена на рис. 2.3, в.

Наилучшая компенсация получается при выполнении условия

$$Z_{\text{к}} + Z_{\text{нк}} = Z_{\text{с}} + Z_{\text{нс}},$$

где $Z_{\text{к}}$ — импеданс косинусной обмотки.

СКР с первичным и вторичным симметрированием имеет выходные напряжения с той же зависимостью амплитуды от угла поворота ротора, что и на холостом ходу.

2. Практическая часть

В практической части необходимо построить функцию преобразования резольвера.

2.1. Лабораторная установка

Лабораторная установка включает в себя:

1. резольвер с магазином нагрузочных сопротивлений,
2. генератор синусоидальных колебаний,
3. осциллограф.

Функциональная схема лабораторной установки показана на рис.2.4.

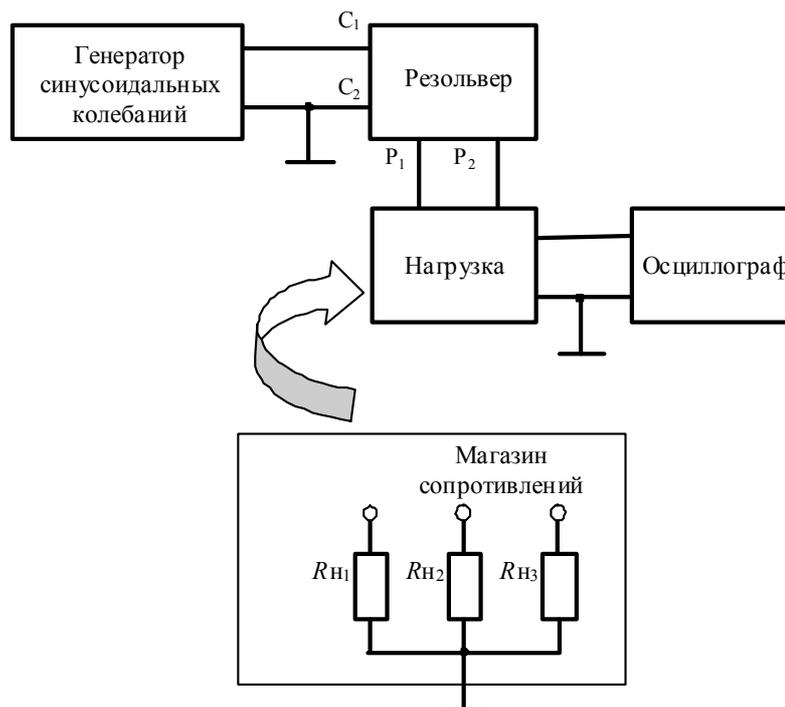


Рис. 2.4. Схема экспериментальной установки

2.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Включить генератор синусоидальных колебаний и осциллограф в сеть с напряжением 220 В 50 Гц.
2. Собрать резольвер по синусно-косинусной схеме.
3. Подключить генератор к статорной обмотке резольвера, а осциллограф - к роторной (без нагрузки).
4. Установить на генераторе сигнал частотой $f = f_1 = 50$ Гц и амплитудой 5 В.
5. Вращая вал ротора наблюдать изменение амплитуды выходного напряжения в режиме холостого хода.
6. Подключить к резольверу магазин сопротивлений.
7. Снять функцию преобразования синусно-косинусного резольвера при $R_n = R_{н1}$ и $f = f_1$; $f = f_5 = 5f_1 = 250$ Гц; ... $f = f_{40} = 40f_1 = 20$ кГц
8. Посмотреть изменение функции преобразования резольвера при $R_n = R_{н2}$ и $R_n = R_{н3}$.
9. Заполнить табл. 2.1.
10. В одной системе координат построить графики функций преобразования резольвера.
11. Сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

Таблица записи результатов эксперимента

$\theta, ^\circ$	$U(R_{H1} f_1), В$	$U(R_{H2} f_1), В$	$U(R_{H3} f_1), В$	$U(R_{H1} f_5), В$	$U(R_{H1} f_{20}), В$	$U(R_{H1} f_{40}), В$
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
330						
360						

3. Контрольные вопросы

1. Принцип действия и область применения синусно-косинусного резольвера.
2. Влияние частоты напряжения питания резольвера на его функцию преобразования.
3. Назначение первичного и вторичного симметрирования синусно-косинусного резольвера.
4. Зависимость функции преобразования синусно-косинусного резольвера от нагрузки в цепи ротора.