

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ ТИ—ТС, РАБОТАЮЩИХ ПО РЭС, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ ПОМЕХИ

И. Ф. Огороднейчук, В. Я. Журавлев, В. П. Солоха

Харьков

Анализ силовой низковольтной сети как канала связи для передачи информации показывает, что в ней наряду с электрическими помехами действует и мультипликативная.

При подключении к сети различных токоприемников изменяются ее параметры: входное сопротивление и затухание.

Входное сопротивление и затухание в общем случае представляют собой сложные функции и определяются выражениями [2]

$$Z_{вх} = \frac{Z_n \Delta_{mm} + \Delta_{mm, nn}}{Z_n \Delta + \Delta_{nn}};$$

$$b = \ln \left| \frac{Z_n \Delta_{mm} + \Delta_{mm, nn}}{Z_n \Delta_{nn}} \right|,$$
(1)

где Δ_{mm} , Δ_{nn} , Δ_{mn} — алгебраические дополнения матрицы $\|Y\|$;

$\Delta_{mm, nn}$ — двойное алгебраическое дополнение матрицы $\|Y\|$;

Δ — определитель матрицы $\|Y\|$.

Очевидно, передаточную функцию разветвленной электрической сети можно найти по формуле

$$K(t) = \frac{Z_n \Delta_{mm} + \Delta_{mm, nn}}{Z_n \Delta_{nn}},$$
(2)

где Z_n — сопротивление нагрузки (приемника).

Снятие характеристик входного сопротивления обмоток токоприемников обычно проводится при отсутствии силового напряжения основной гармоники $f = 50$ гц. Поэтому существует мнение, что входное сопротивление токоприемников с нелинейными элементами зависит от частоты и не зависит от тока нагрузки.

В работе [3] указывается, что входное сопротивление обмоток токоприемников с нелинейными элементами изменяется в пределах $Z_{вх \min} \div Z_{вх \max}$ с частотой основной гармоники тока в данной цепи.

Рис. 1 показывает изменение входного сопротивления в зависимости от частоты и нагрузок по основному току.

Ток нагрузки

$$i_n = J_m \sin \Omega t,$$

проходя через нелинейные цепи, изменяет входное сопротивление в пределах $Z_{вх \min} \div Z_{вх \max}$, при этом происходит модуляция высокочастотного сигнала $s(t)$ с коэффициентом модуляции

$$M = \frac{Z_{вх \max} - Z_{вх \min}}{Z_{вх \max} + Z_{вх \min}}.$$
(3)

В общем случае сигнал $s(t)$ на выходе такой системы будет изменяться по закону

$$s_{\text{вых}}(t) = s(t) [1 + M \sin \Omega t].$$

При переменной амплитуде тока нагрузки коэффициент модуляции M на фиксированной частоте будет функцией тока и времени

$$M = F(J, t). \quad (4)$$

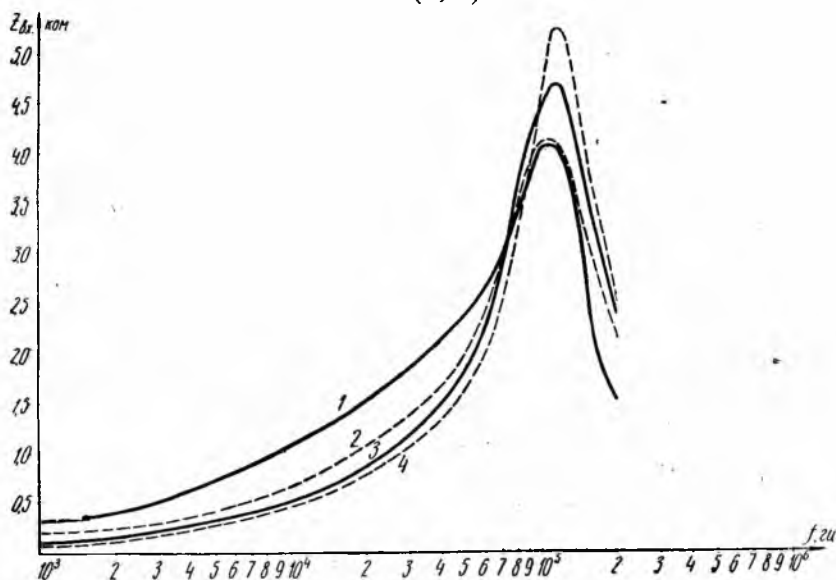


Рис. 1. Характеристики входного сопротивления двигателя СЭР—19Д по схеме ф—ф:

1 — при отсутствии силового напряжения; 2 — $I_{\text{дв}} = 3,5 \text{ а}$; 3 — $I_{\text{дв}} = 5,5 \text{ а}$; 4 — $I_{\text{дв}} = 9 \text{ а}$.

Для учета изменения передаточной функции от тока нагрузки введем коэффициент $\eta(t)$.

При анализе помехоустойчивости систем ТИ—ТС, работающих по разветвленным электрическим сетям, будем исходить из положения, что входной сигнал $s(t)$ является детерминированным, а изменение мультипликативной помехи — случайным процессом.

Для точной оценки помехоустойчивости от воздействия мультипликативной помехи нужно ориентироваться на статистические параметры передаточной функции.

На рис. 2 приведены амплитудно-частотные характеристики участка в силовой сети по схеме ф—ф и ф—з при подключении различных токоприемников без учета силового напряжения. Характеристики коэффициента передачи не остаются постоянными. По схеме ф—ф коэффициент передачи изменяется незначительно до частоты 40 кГц, выше 40 кГц он изменяется в пределах 0,4—2.

Для схем включения ф—з коэффициент передачи изменяется незначительно только до 10 кГц, затем он может изменяться в пределах 0,2—1,5.

Для приближенной оценки помехоустойчивости систем, работающих в диапазоне частот 10÷50 кГц, коэффициент передачи можно рассчитывать, как для неразветвленной сети, ориентируясь при этом на самые мощные токоприемники, имеющие минимальное входное сопротивление.

Из анализа характеристик передаточной функции вытекает, что мало влияющей нагрузкой ($K = 0,99$) на постоянный тракт участковая подстанция — бронированный кабель является подключение пускового агрегата АП. Коэффициент передачи этого тракта остается постоянным в диапазоне частот 5—300 кГц. Обозначим эту передаточную функцию $K_B(\omega)$. Очевидно, что нижним пределом ее изменения будет режим работы всего оборудования участка, обозначим его $K_P(\omega)$.

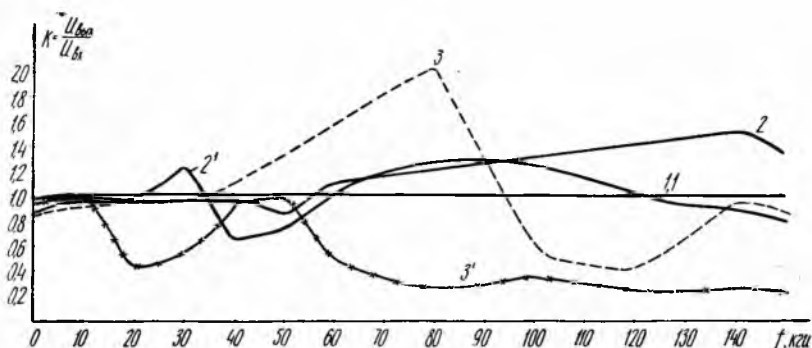


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики участковой сети для схем включения ф—ф (1, 2, 3) и ф—з (1', 2', 3'):

- 1, 1' — сеть: трансформатор ТКШВП—180 кВа, агрегат АП—3,5 кВа, сверло СЭР—19Д;
2, 2' — сеть: ТКШВП—180 кВа, комбайн ЛГД-2; 3, 3' — сеть: ТКШВП—180 кВа, комбайн Д-1к, конвейер СП-48, машина ППМ-4М, АП—3,5 кВа.

Относительное изменение амплитудно-частотной характеристики системы для разветвленной сети будет определяться выражением

$$\xi = \frac{K_P(\omega)}{K_B(\omega)}. \quad (5)$$

При неразветвленной кабельной линии с симметричными концевыми нагрузками для схемы подсоединения ф—з коэффициент передачи находят из выражения [4]

$$K_S(\omega) = \frac{\frac{(Z_\Phi + Z_3)(Z_{вх. \Phi} + 1)}{Z_3(Z_\Phi + Z_{вх. \Phi})} \frac{\operatorname{ch} \gamma_\Phi l}{1 - \gamma_3 l} + 1}{\frac{Z_{вх. \Phi}}{Z_3} \frac{Z_\Phi + Z_3}{Z_\Phi + Z_{вх. \Phi}} + 1} l - \gamma_3 l, \quad (6)$$

где $Z_{вх. \Phi}$ — входное сопротивление по схеме ф—ф;

$Z_\Phi Z_3$ — волновое сопротивление кабеля по схеме ф—ф и ф—з;

γ_Φ, γ_3 — постоянные распространения.

Для схемы подсоединения ф—ф при согласованной нагрузке коэффициент передачи можно вычислить из выражения

$$K_\Phi(\omega) = \operatorname{ch} \gamma_\Phi l - \frac{1}{Z_{\Phi. н}} \operatorname{sh} \gamma_\Phi l, \quad (7)$$

где $Z_{\Phi. н} = \frac{Z_\Phi Z_n}{Z_\Phi + Z_n}$ — входное сопротивление системы;

Z_n — сопротивление концевой нагрузки.

При воздействии на входе системы сигнала $s(t)$ мгновенное значение сигнала на выходе

$$s_{вых}(t) = \xi \eta s(t). \quad (8)$$

Среднее значение принимаемого сигнала за время T

$$\overline{s_{\text{вых}}}(t) = \overline{\xi\eta} s(t). \quad (9)$$

Тогда абсолютное значение средней ошибки при воздействии мультипликативной помехи с учетом выражения (9)

$$\delta_{\text{ср}} = s(t) [\overline{\epsilon} - 1], \quad (10)$$

где $\overline{\epsilon} = \overline{\xi\eta}$ — результирующая передаточная функция.

Из выражения (10) видно, что средняя ошибка зависит от изменения передаточной функции и при неразветвленной сети и равномерной нагрузке стремится к минимальной постоянной ошибке, обусловленной изменением $Z_{\text{вх}}$ под воздействием тока нагрузки.

Абсолютное значение среднеквадратичной ошибки от воздействия мультипликативной помехи на основании [5] с учетом выражений (8) и (9)

$$\delta_{\text{ср. кв}} = \sqrt{\frac{(\overline{\epsilon} - \epsilon)^2}{T} \int_0^T s^2(t) dt}, \quad (11)$$

где $T = \frac{1}{2f_{\text{max}}}$ — время быстрогодействия системы.

Из формулы (11) видно, что среднеквадратичная ошибка пропорциональна изменению передаточной функции и обратно пропорциональна корню квадратному из быстрогодействия системы. Как и средняя ошибка при неразветвленной линии связи и равномерной нагрузке, среднеквадратичная ошибка стремится к минимальной ошибке.

Анализ выражений (10) и (11) показывает, что при использовании шахтной силовой сети как канала связи по схеме ф—ф в диапазоне частот 10 ÷ 50 кГц средняя ошибка от воздействия мультипликативной помехи достигает 20%. При использовании схемы подключения аппаратуры ф—з средняя ошибка может достигать 13%.

Среднеквадратичная ошибка от воздействия мультипликативной помехи по схеме ф—ф достигает в указанном диапазоне 15%, при подключении аппаратуры по схеме ф—з $\delta_{\text{р. кв}}$ равна 19%.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Харкевич. Борьба с помехами. Изд-во «Наука», 1965.
2. И. Ф. Огороднейчук, В. Д. Остроухов. Расчет каналов связи по симметричным трехфазным сетям методом теории схем с многополюсными элементами. Ж. «Электричество», 1967, № 5.
3. И. Ф. Огороднейчук, В. П. Солоха, В. Я. Журавлев, В. А. Секретная. Измерение входных сопротивлений обмоток токоприемников трехфазных систем при наличии силового напряжения сети. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 8, Изд-во ХГУ, Харьков, 1968.
4. И. Ф. Огороднейчук, В. П. Солоха. Характеристики шахтной силовой сети как канала связи для импульсной передачи телемеханической информации. «Горный журнал», Известия вузов, 1966, № 3.
5. Ю. И. Чугин. Помехоустойчивость частотных систем телемеханики. Изд-во «Энергия», 1966.