СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1260877 A1

(51) 4 G 01 R 31/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

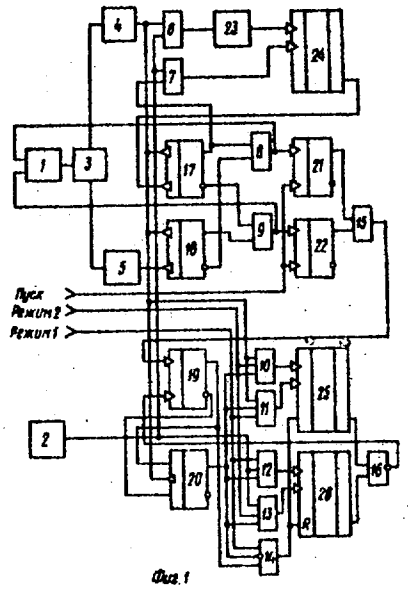
## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3835637/24-2
(22) 02.01.85
(46) 30.09.86. Бюл. № 36
(71) Львовский ордена Ленина политехнический институт им. Ленинского комсомола и Специальное конструкторско-технологическое бюро Физико-механического института им. Г.В. Карпенко
(72) Б.М. Березюк и А.Я. Тетерко
(53) 621.317.75(088.8)
(56) Патент США № 4095180, кл. G 01 R 33/12, 1978.

Авторское свидетельство СССР № 1049839, кл. G 01 R 31/00, 1983.

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Изобретение относится к области неразрушающего контроля методом вихревых токов. Может быть использовано для измерения электропроводности неферромагнитных проводящих материалов непосредственно на изделии. Способ заключается в квантовании периода возбуждающего сигнала импульсами образцовой частоты $f_0$, формировании временного интервала (ВИ) $\hat{\tau}_\phi$, соответствующего заданному значению фазы. ВИ $\hat{\tau}_\phi$, сравнивают с ВИ $\hat{\tau}_i$, между сигна-




Фиг. 1

(19) SU (11) 1260877 A1

лами на выходах токовой и измерительной катушек преобразователя. Когда $\hat{\tau}_{\varphi_1} = \hat{\tau}_1$, прекращают изменение частоты. Считают число $N_1$ импульсов образцовой частоты в течение целого числа периодов возбуждающей частоты. Устанавливают преобразователь на поверхность другого участка и повторяют процесс автоподстройки частоты и сравнения сдвига фаз с заданным значением и в момент их сравнения считают число импульсов $N_2$ образцовой частоты и число периодов возбуждающей частоты. Сравнивают величины $N_1$ и $N_2$ и после их сравнения по величине зафиксированного целого числа периодов возбуждающей частоты определяют конечный результат измерения. Устройство для реализации способа содержит генератор 1 управляемого синусоидального напряжения, генератор 2 образцовой частоты, вихретоковый преобразователь 3, усилители-формирователи 4-5, элементы И 12, 13, 6, 7, 10, счетчики импульсов 24-26 реверсивные, делитель частоты 23, триггер 17, для достижения цели дополнительно введены триггеры 18 - 22, элементы И 8, 9, 11, 14, 15, 16. 2 с. п. ф - лы, 2 ил.

---

1

Изобретение относится к области неразрушающего контроля методом вихревых токов и может быть использовано для измерения электропроводности неферромагнитных проводящих материалов непосредственно на изделии.

Цель изобретения - расширение функциональных возможностей.

По предлагаемому способу, установив вихретоковый преобразователь на поверхность первого участка, его токовую катушку возбуждают синусоидальным напряжением частотой f. Квантуют период возбуждающего сигнала частотой $f_0$ и формируют временной интервал $\hat{\tau}_{\varphi_1}$, соответствующий заданному значению фазы. Сформированный временной интервал $\hat{\tau}_{\varphi_1}$ сравнивают с временным интервалом $\hat{\tau}_1$ между сигналами на выходах токовой и измерительной катушек преобразователя и в зависимости от результата сравнения, увеличивают или уменьшают частоту f возбуждения преобразователя. Описанный процесс продолжают до тех пор, пока не выполнится условие $\hat{\tau}_{\varphi_1} = \hat{\tau}_1$. В момент выполнения указанного условия прекращают изменение частоты и с началом очередного периода начинают одновременно считать число периодов возбуждающей частоты $f_1$ и число импульсов образцовой частоты $f_0$. В момент сравнения подсчитываемого числа периодов возбуждающей частоты с заданным значением $n_1$ прекращают считать и фиксируют подсчитанное число $N_1$ импульсов образцовой частоты. Устанавливают преобразователь на поверхность другого участка и повторяют процесс автоподстройки частоты f возбуждающего сигнала, квантования его периода, и формирования $\hat{\tau}_{\varphi_2}$. При сравнении формируемого временного интервала $\hat{\tau}_{\varphi_2}$ с $\hat{\tau}_2$ прекращают автоподстройку частоты и с началом очередного периода зафиксированной частоты $f_2$ управляемого генератора начинают считать число $n_2$ ее периодов и число $N_2$ импульсов образцовой частоты. В момент сравнения подсчитываемого числа $N_2$ импульсов образцовой частоты с зафиксированным числом $N_1$ при контроле первого участка прекращают считать числа обеих частот и фиксируют подсчитанное число $n_2$ периодов возбуждающей частоты $f_2$. По зафиксированному числу определяют конечный результат измерения.

2

Числа $N_1$ и $N_2$ определяются соотношениями

$$N_1 = f_0 n_1 \frac{1}{f_1} ; \quad N_2 = f_0 n_2 \frac{1}{f_2} \qquad (1)$$

При сравнении $N_1$ и $N_2$ имеем

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{n_2}{n_1} , \qquad (2)$$

где $\rho_1$ - удельное электрическое сопротивление первого участка изделия;

$\rho_2$ – удельное электрическое сопротивление второго участка изделия.

Если $n_1$ выбрать кратным $10^m$, то относительное электрическое сопротивление $\rho_{2\,отн}$ будет равно

$$\rho_{2\,отн} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 10^{-m} \cdot n_2 , \quad (3)$$

На фиг. 1 изображена блок-схема предлагаемого устройства; на фиг. 2 – временные диаграммы, поясняющие его работу.

Устройство для измерения удельного сопротивления содержит генератор 1 управляемого синусоидального напряжения, генератор 2 образцовой частоты, вихретоковый преобразователь 3, усилители-формирователи 4 и 5, элементы И 6-16, триггеры 17-22, делитель 23 частоты, счетчики 24-26 импульсов.

Выход генератора 2 образцовой частоты соединен с первыми входами элементов И 6, 7, 12 и 13. Выходы элементов И 6 и 7 соединены соответственно с входом делителя 23 частоты и вычитающим входом счетчика 24 импульсов, а суммирующий вход последнего соединен с выходом делителя частоты. Выход генератора 1 соединен с входом преобразователя 3, выходы которого соединены соответственно с входами усилителей-формирователей 4 и 5. Выход усилителя-формирователя 4 соединен с входами элементов И 6, 10 и 11, первыми входами триггеров 17 и 18 и синхронизирующим входом триггера 20. Выход усилителя-формирователя 5 соединен с вторым входом триггера 18, прямой выход которого соединен с первым входом элемента И 9, а инверсный – с вторым входом элемента И 8. Второй вход триггера 17 соединен с выходом переполнения счетчика 24, его прямой выход – с вторым входом элемента И 7 и первым входом элемента И 8, инверсный – с вторым входом элемента И 9. Прямой выход триггера 19 соединен с первыми входами триггера 20 и элемента И 14, инверсный – с вторым входом триггера 20, выход которого соединен с входами элементов И 10, 11, 12, 13 и 14. Выходы элементов И 8 и 9 соединены соответственно с первым и вторым входами генератора 1 и первыми входами триггеров 21 и 22. Выходы последних соединены с входами элемента И 15, выход которого соединен с первым входом триггера 19. Второй вход триггера 19 соединен с выходом элемента И 16, входы которого соединены с выходами переполнения счетчиков 25 и 26. Выходы элементов И 12 и 13 соединены соответственно с суммирующим и вычитающим входами счетчика 26. Выходы элементов И 10 и 11 соединены с суммирующим и вычитающим входами счетчика 25, выход элемента И 14 – с управляющими входами счетчиков 25 и 26. Вторые входы триггеров 21 и 22 соединены с клеммой "Пуск", третьи входы элементов И 10 и 13 – с клеммой "Режим 2", третьи входы элементов И 11, 12 и 14 – с клеммой "Режим 1".

На фиг. 2 представлены следующие временные диаграммы, объясняющие работы устройства в режиме "1" при $n_1 = 1$:

а) $U_n$ – на входе "Пуск";

б) $U_4$ – на выходе усилителя-формирователя 4;

в) $U_5$ – на выходе усилителя-формирователя 5;

г) $U_{17}$ – на выходе триггера 17;

д) $U_{18}$ – на выходе триггера 18;

е) $U_{21}$ – на выходе триггера 21;

ж) $U_{22}$ – на выходе триггера 22;

з) $U_{19}$ – на выходе триггера 19;

и) $U_{20}$ – на выходе триггера 20;

к) $U_{11}$ – на вычитающем входе счетчика 25;

л) $U_{14}$ – на выходе элемента И 14;

м) $U_{12}$ – на суммирующем входе счетчика 26.

На временных диаграммах приняты следующие обозначения:

T – период возбуждающего сигнала вихретокового преобразователя;

$\hat{\tau}$ – временной интервал между сигналами на токовой и измерительной катушках преобразователя;

$\hat{\tau}_\varphi$ – сформированный временной интервал соответствующий заданной разности фаз;

$t_n$ – момент времени прихода сигнала "Пуск";

$t_1$ – момент прихода переднего фронта сигнала токовой катушки;

$t_2$ – момент прихода переднего фронта сигнала измерительной катушки;

$t_3$ – момент прихода заднего фронта сигнала токовой катушки;

$t_4$ – момент прихода заднего фронта сигнала измерительной катушки.

Устройство для измерения удельного сопротивления работает следующим образом.

Перед началом измерения все элементы устройства устанавливают в исходное состояние. При этом триггеры 21 и 22 находятся в единичном, а триггеры 19 и 20 и счетчики 24-26 - в нулевом состоянии. На входную клемму "Режим 1" поступает единичный потенциал. В делителе 23 частоты устанавливают коэффициент деления К = $= \frac{\hat{\tau}}{\varphi_{зад}}$, где $\varphi_{зад}$ - заданное значение разности фаз между измерительным сигналом датчика и возбуждающим его сигналом. Обычно коэффициент К выбирают целочисленным.

Вихретоковый преобразователь 3 устанавливают на поверхность первого участка изделия, по отношению к которому измеряют относительные значения удельных электрических сопротивлений других участков. На вход устройства в момент времени $t_н$ (фиг. 2) подают сигнал "Пуск", устанавливающий в нулевое состояние триггеры 21 и 22. На вход преобразователя 3 с выхода управляемого генератора 1 поступает синусоидальное напряжение частотой f. На выходе усилителя-формирователя 5, подключенного к выходу измерительной катушки преобразователя, появляются сигналы прямоугольной формы, сдвинутые относительно сигналов на выходе усилителя-формирователя 4, подключенного к токовой катушке преобразователя 3, на время $\hat{\tau}$ (фиг. 2). Величина временного интервала $\hat{\tau}$ однозначно определяет фазу измерительного сигнала, зависящую от электропроводности $\sigma$ участка и частоты f возбуждающего сигнала. Передний фронт положительного полупериода с выхода усилителя-формирователя 4 открывает элемент И 6 и счетчик 24 начинает считать импульсы генератора 2 образцовой частоты $f_0$, делимой делителем 23 в К раз. Задний фронт положительного полупериода с выхода усилителя-ограничителя 4 закрывает элемент И 6 и устанавливает в единичное состояние триггеры 17 и 18. На выходах триггеров 17 и 18 начинают формироваться временные интервалы $\hat{\tau}_\varphi$ и $\hat{\tau}$ соответственно. В счетчике 24 окажется зафиксированным число

$$N = \int_{\hat{\tau}_1}^{\hat{\tau}_2} \frac{1}{K} f_0 \, dt = \frac{1}{2Kf} f_0. \qquad (4)$$

Единичный сигнал с выхода триггера 17 открывает элемент И 7 и счетчик 24 начинает вычитать из числа N число N' импульсов частотой $f_0$. Передний фронт нулевого сигнала, появившегося на выходе счетчика 24 при сравнении чисел N и N' (обнулении счетчика), устанавливает в единичное состояние триггер 17. Триггер 18 устанавливается в единичное состояние задним фронтом сигнала с выхода усилителя-ограничителя 5. В зависимости от соотношения временных интервалов $\hat{\tau}_\varphi$ и $\hat{\tau}$ на выходе соответствующего элемента И 8 или И 9 появляется единичный сигнал длительностью $\Delta\hat{\tau} = \hat{\tau}_\varphi - \hat{\tau}$ Пусть в начальный момент времени $\hat{\tau}$ окажется меньшим $\hat{\tau}_\varphi$. Тогда единичный сигнал длительностью $\Delta\hat{\tau}$ появляется на выходе элемента И 8, устанавливает в единичное состояние триггер 21 и поступает на вычитающий вход управляемого генератора 1. Последний увеличивает частоту генерируемых сигналов. Описанный процесс автоподстройки частоты повторяется до тех пор, пока разностный интервал $\Delta\hat{\tau}$ не поменяет свой знак. Тогда в единичное состояние устанавливается триггер 22 и на выходе элемента И 15 появляется единичный сигнал. Частота генератора 1 в дальнейшем автоматически поддерживается равной $f_1$, при которой выполняется условие $\hat{\tau} = \hat{\tau}_\varphi$. Передний фронт единичного сигнала с выхода элемента И 15 устанавливает в единичное состояние триггер 19, сигнал с выхода которого поступает на I-вход триггера 20 и вход элемента И 14. Единичный сигнал с выхода элемента И 14 устанавливает в нулевое состояние счетчик 26 и записывает в счетчик 25 число $n_1$. Задний фронт сигнала, поступившего с выхода усилителя-формирователя 4 на синхронизирующий вход триггера 20, устанавливает последний в единичное состояние. Единичный потенциал с выхода триггера 20 поступает на входы элементов И 10-14. Счетчик 25 начинает вычитать из числа $n_1$ число периодов возбуждающей частоты $f_1$, а счетчик 26 - считать число импульсов образцовой частоты $f_0$. В момент обнуления счетчика 25 передний фронт нуле-

ного сигнала с его выхода поступает на вход элемента И 16, вследствие чего единичный сигнал с его инверсного выхода своим передним фронтом устанавливает в нулевое состояние триггер 19. Единичный сигнал с инверсного выхода последнего поступает на К-вход триггера 20 и задний фронт очередного синхронизирующего сигнала устанавливает его в нулевое состояние. В счетчике 26 окажется зафиксированным число импульсов образцовой частоты, равное

$$N_1 = n_1 f_0 \frac{1}{f_1}. \qquad (5)$$

Вихретоковый преобразователь 3 устанавливают на другой участок, относительное значение электрического сопротивления которого будут измерять. Снимают единичный потенциал с клеммы "Режим 1" и подают единичный потенциал на клемму "Режим 2". Сигнал "Пуск", поступающий на вход устройства устанавливает в нулевое состояние триггеры 21 и 22. Процесс автоподстройки частоты осуществляется аналогично вышеописанному.

В момент сравнения временных интервалов $\hat{\tau}_\Phi$ и $\hat{\tau}$ на выходе генератора 2 установится частота $f_2$ возбуждающего сигнала, а передний фронт единичного сигнала с выхода элемента И 15 устанавливает в единичное состояние триггер 19. Задний фронт сигнала с выхода усилителя-формирователя 4 устанавливает в единичное состояние триггер 20, разрешающий сигнал с выхода которого открывает элементы И 10 и 13. Счетчик 25 начинает подсчитывать число периодов возбуждающей частоты $f_2$, а счетчик 26 - вычитать из ранее зафиксированного числа $N_1$ число $N_2$ импульсов образцовой частоты. В момент сравнения чисел $N_1$ и $N_2$ нулевой сигнал с выхода счетчика 26 поступает на вход элемента И 16 и передний фронт единичного сигнала с его инверсного выхода устанавливают в нулевое состояние триггер 19. Задний фронт очередного сигнала с выхода усилителя-формирователя 4 устанавливают в нулевое состояние триггер 20.

Таким образом, в счетчике 25 окажется зафиксированным число $n_2$, пропорциональное относительному значению электрического сопротивления $\rho_{2отн}$ второго участка.

Если перед контролем очередного участка обеспечить восстановление в счетчике 26 числа $N_1$, дальнейшие измерения относительных значений удельных электрических сопротивлений можно будет проводить без повторного контроля исходного участка.

Предлагаемое устройство позволяет производить также измерение относительного значения электропроводности. Для этого контроль участка (изделия), относительное значение у электропроводности которого необходимо измерить, производят в "Режиме 1", а контроль исходного участка (изделия) - в "Режиме 2".

Тогда

$$\sigma_{1отн} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 10^{-m} \cdot n_2. \qquad (6)$$

Если в качестве исходного применяют образец с известным электрическим сопротивлением, то сопротивление контролируемого изделия определяют из соотношения

$$\rho_x = 10^{-m} \rho_0 n_2$$

Для определения электропроводности изделия его контроль проводят в "Режиме 1", а контроль образцового материала - в "Режиме 2".

Тогда

$$\sigma_x = 10^{-m} \sigma_0 n_2$$

Предлагаемое устройство позволяет в "Режиме 1" измерять абсолютное значение электропроводности без применения образцового материала.

Тогда

$$\sigma_x = C \cdot 10^{-m} \quad N_1$$

где $C = \frac{\beta}{2\pi R_э^2 \mu_0 f_0}$;

$R_э$ - эквивалентный радиус вихретокового преобразователя;

$\mu_0$ - магнитная проницаемость;

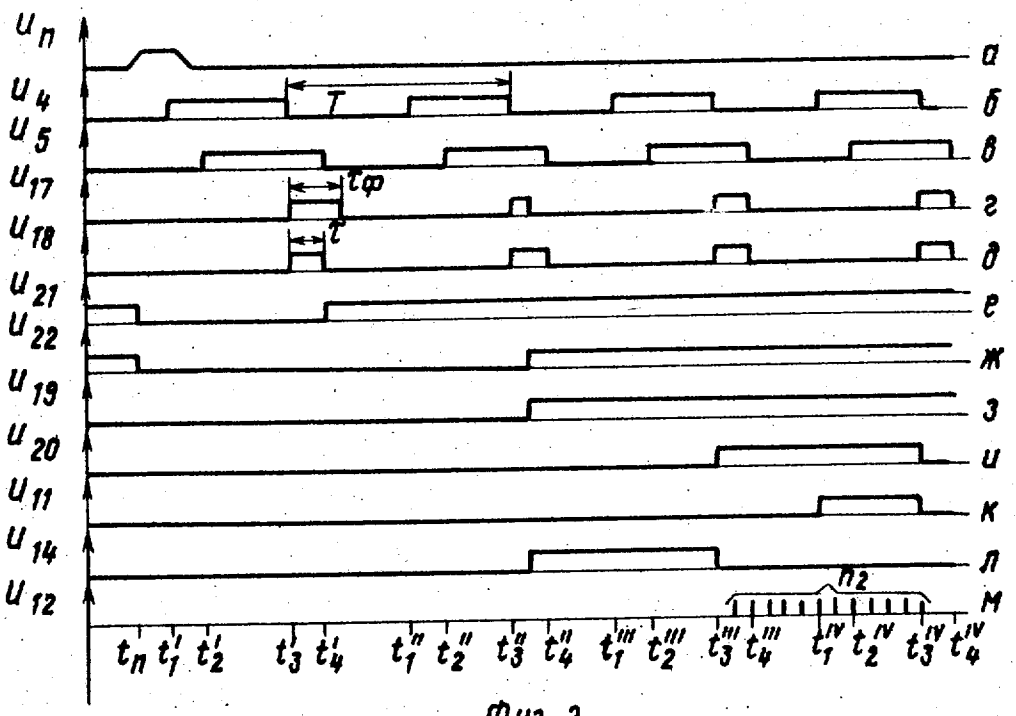
$\beta$ - обобщенный параметр вихретокового преобразователя.

## Формула изобретения

1. Способ измерения удельного сопротивления, основанный на изменении частоты возбуждения вихретокового преобразователя, по которому возбуждающий сигнал квантуют импульсами образцовой частоты и формируют временной интервал, соответствующий заданной разности фаз, сравнивают его с интервалом между опорным и измерительным сигналами преобразователя и в момент их сравнения прекращают из-

менение частоты сигнала, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью расширения функциональных возможностей, считают число импульсов образцовой частоты в течение целого числа периодов возбуждающей частоты, устанавливают преобразователь на очередной участок контролируемого изделия и повторяют процесс автоподстройки частоты и сравнения сдвига фаз с заданным значением и в момент их сравнения начинают одновременно считать число импульсов образцовой частоты и число периодов возбуждающей частоты, сравнивают подсчитываемое число импульсов образцовой частоты с зафиксированным числом на первом участке и после их сравнения по величине зафиксированного целого числа периодов возбуждающей частоты определяют конечный результат измерения.

2. Устройство для измерения удельного сопротивления, содержащее последовательно соединенные управляемый генератор синусоидального напряжения и вихретоковый преобразователь с двумя усилителями-формирователями на выходах, генератор образцовой частоты с элементами И на выходе, выходы первого и второго которых соединены соответственно с суммирующим и вычитающим входами первого счетчика импульсов, третий и четвертый элементы И, выходы которых соединены соответственно с вычитающим входом второго счетчика импульсов и входом делителя частоты, а выход последнего соединен с суммирующим входом второго счетчика, третий счетчик импульсов – с пятым элементом И на установочном входе и триггер, выход первого усилителя-формирователя соединен с установочным входом первого триггера и первым входом пятого элемента И, вторые входы первого, второго и пятого элементов И соединены соответственно между собой, о т л и ч а ю щ е е с я тем, что, с целью расширения функциональных возможностей, оно дополнительно содержит пять триггеров и шесть элементов И, причем выход второго усилителя-формирователя соединен с сбросовым входом второго триггера, а выход первого усилителя-формирователя соединен с входами четвертого и шестого элементов И, сбросовым входом второго и синхронизирующим входом шестого триггеров, выход переполнения второго счетчика импульсов соединен с сбросовым входом первого триггера, прямой выход которого соединен с входами третьего и восьмого элементов И, а инверсный – с входом девятого элемента И, прямой выход второго триггера соединен с вторым входом девятого, а инверсный – с вторым входом восьмого элементов И, выходы восьмого и девятого элементов И соединены соответственно с первым и вторым входами управляемого генератора синусоидального напряжения, соединенным с установочными входами третьего и четвертого триггеров, выходы которых соединены с входами десятого элемента И, выход которого соединен с установочным входом пятого триггера, прямой выход пятого триггера соединен с установочным входом шестого триггера и входом седьмого элемента И, а инверсный выход – с сбросовым входом шестого триггера, прямой выход шестого триггера соединен с вторыми входами первого, второго, пятого, шестого и седьмого элементов И, выход шестого элемента И соединен с вычитающим входом третьего счетчика, выход седьмого элемента И соединен с управляющими входами первого и третьего счетчиков импульсов, выходы переполнения которых соединены с входами одиннадцатого элемента И, а выход последнего соединен с сбросовым входом пятого триггера, сбросовые входы третьего и четвертого триггеров соединены с клеммой "Пуск", третьи входы второго и пятого элементов И соединены с клеммой "Режим 2", третьи входы первого, шестого и седьмого элементов И соединены с клеммой "Режим 1".




Фиг. 2

Составитель В. Стукан
Редактор А. Ревин Техред И.Попович Корректор Л. Патай

Заказ 5226/46 Тираж 728 Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная,4