

TU Bergakademie Freiberg  
Institut für Elektrotechnik



# **Doppelt-gespeiste Asynchronmaschine als drehzahlvariabler Windenergiegenerator und ihre feldorientierte Regelung**

Skriptum für Nichtelektrotechniker

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. habil. U. Beckert

Datum: Oktober 2003

ТУ Горная академия Фрайберг  
Кафедра электротехники



**Применение асинхронных двигателей с  
двойным питанием  
в качестве генераторов для  
ветроэлектростанций  
и их векторное регулирование**

Издатель: Профессор, др.-инж. У. Бекерт

Докладчик: др.-инж. И. Именохоев

Дата: апрель 2008

## 1. Применение асинхронных двигателей с двойным питанием в качестве генераторов для ветроэлектростанций

Для регулярного получения максимальной мощности в зависимости от изменяющейся скорости ветра целесообразно согласовывать скорость вращения ротора со скоростью ветра (см. рис. 1).

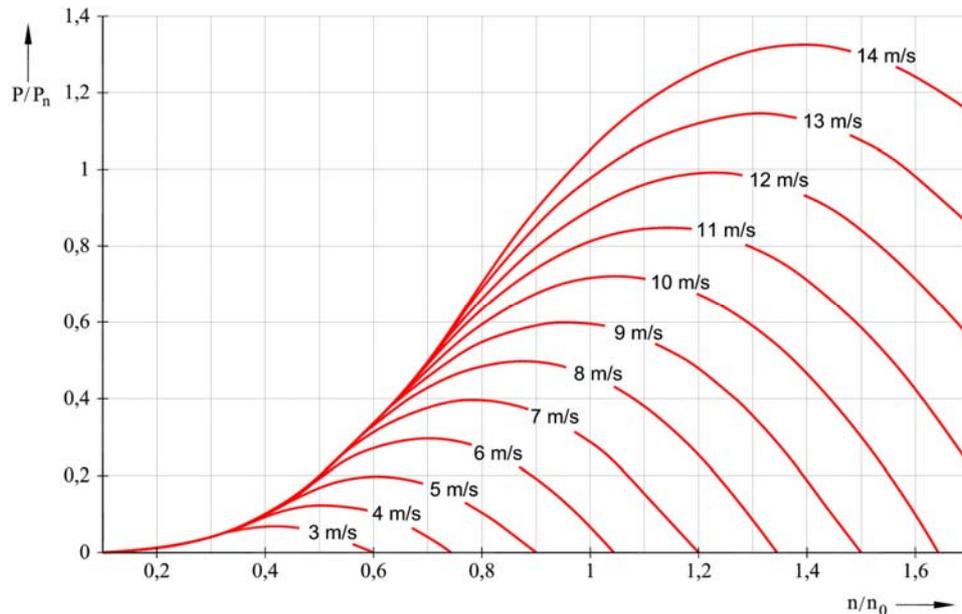


Рис. 1: Характеристическая зависимость мощности преобразователя ветровой энергии от скорости ветра

Т.е. следует выбирать наиболее подходящий вариант генератора с частотным регулированием. В случае ветроэлектроустановок (ВЭУ) с большой мощностью (свыше 1,5 МВт) асинхронные машины с двойным питанием (АМДП) представляют собой хорошую альтернативу синхронным машинам с преобразователями частоты (СМПЧ) при их использовании в качестве частотно-регулируемых генераторов (см. рис. 2).

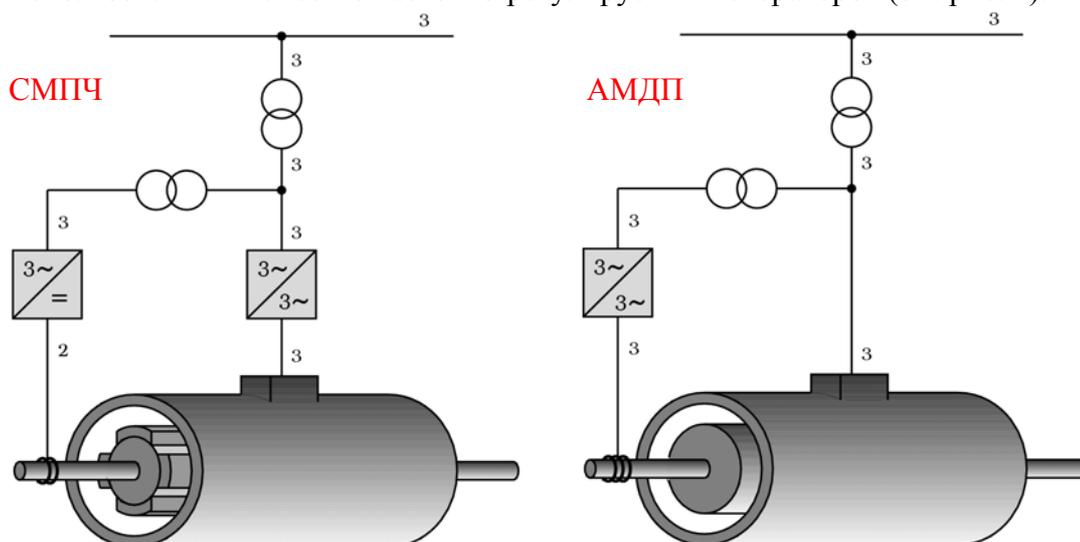


Рис. 2: Сравнительный анализ применения обычных СМПЧ и АМДП в качестве частотно-регулируемого генератора

Как известно, у синхронных машин частота статора  $f_1$  жёстко связана с частотой вращения ротора  $n_s$  через число пар полюсов  $p$ :

$$f_1 = p n_s \quad (1)$$

Необходимый для развязки переменной частоты вращения и постоянной частоты сети  $f_N$  преобразователь частоты располагается между обмоткой статора и сетью. В этом случае через него пропускается полная мощность генератора целиком.

В случае применения АМДП, машина подключается со стороны статора напрямую к сети. Преобразователь частоты, необходимый для развязки частоты вращения от частоты сети, находится в цепи ротора. При этом через преобразователь проходит лишь полная мощность ротора  $S_2$ . Полная мощность ротора пропорциональна скольжению

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2)$$

Если ограничиться достаточно узкой областью изменения рабочей частоты, к примеру  $\pm 20\%$  от синхронной частоты вращения, то полная мощность преобразователя частоты составит малую часть от общей мощности генератора.

На рисунке 3 показаны кривые полной мощности ротора  $S_2$ , отнесённые к полной мощности статора  $S_{1n}$ , в зависимости от скольжения  $s$  при генераторном режиме и номинальной активной мощности для различных значений реактивной мощности.  $Q_1 = -Q_{1n}$  соответствует режиму работы с емкостной реактивной мощностью, равной по модулю номинальной реактивной мощности.  $Q_1 = 0$  соответствует режиму работы с коэффициентом мощности, равным 1.

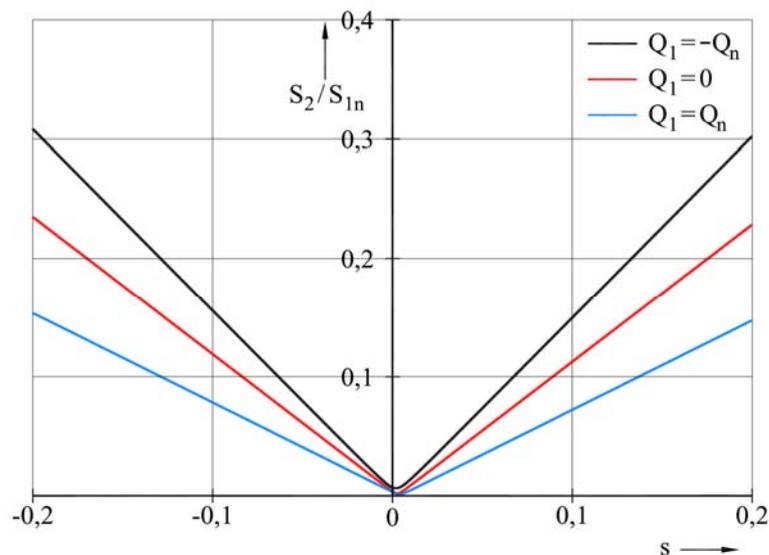


Рис. 3: Кривые зависимости полной мощности от скольжения при генераторном режиме и номинальной активной мощности

На рисунке 4 представлены диаграммы потоков активной мощности в пересинхронизированном (1) и недосинхронизированном (2) генераторных режимах работы АДП.

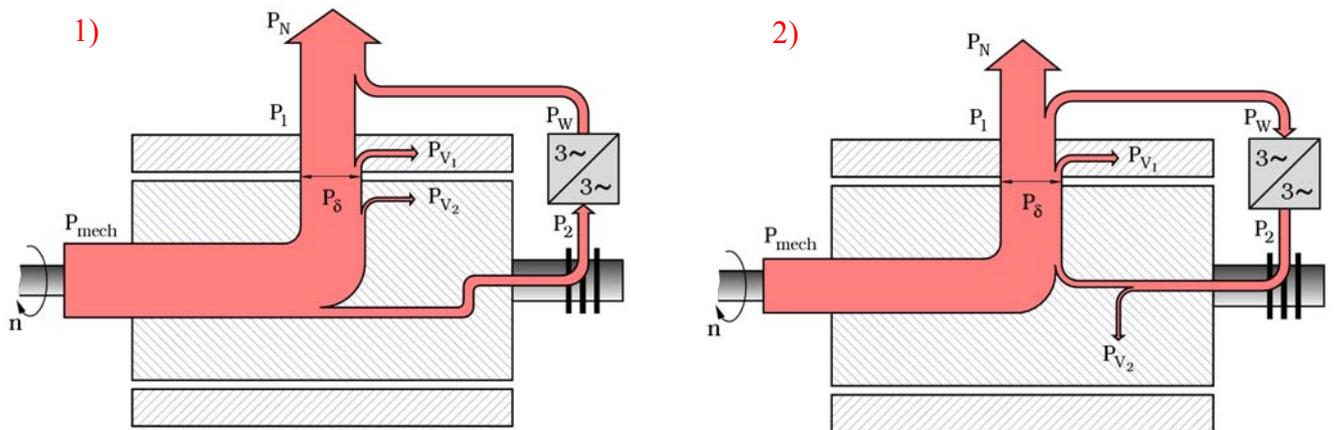


Рис. 4: Диаграммы потоков активной мощности в пересинхронизированном (1) и недосинхронизированном (2) режимах генераторных режимах работы АДП

Кроме того, АДП обладают ещё одним преимуществом, в генераторном режиме активную и реактивную мощности можно регулировать независимо друг от друга с развязкой по частоте при помощи соответствующей компоненты полного тока ротора. Для этого нужно общее регулирование соориентировать по вектору вращения трёхфазного поля.

Далее будет показано, что такое векторное регулирование (ВР) для АДП является практически полной аналогией ВР для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗ). При этом можно использовать практически все соотношения для цепей регулирования и выбирать такие же установки для регуляторов, всего лишь поменяв местами индексы для статора (1) и ротора (2) в соответствующих уравнениях.

## 2. Векторное регулирование АДП

На рисунке 5 изображена принципиальная схема асинхронной машины и связанные с ней системы координат.

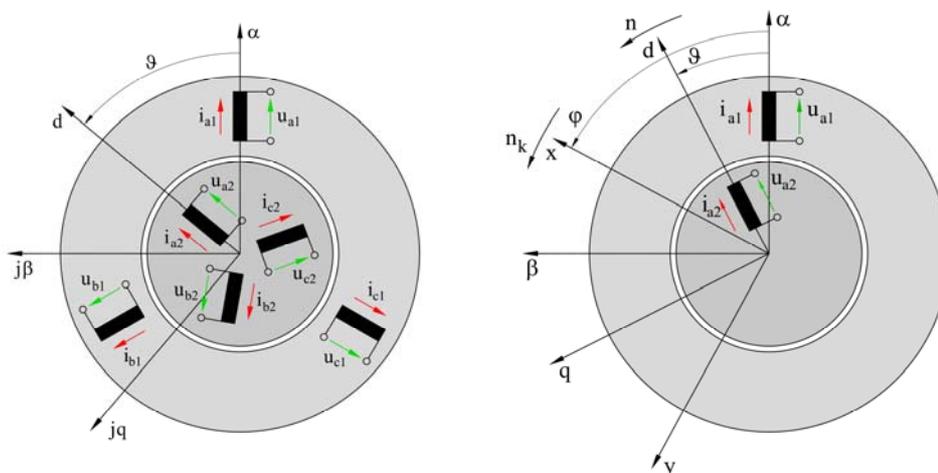


Рис. 5: Принципиальная схема асинхронной машины и связанные с ней системы координат

При этом целесообразно использовать следующие три системы координат (см. рис. 5):

- система координат, связанная со статором машины ( $\alpha, \beta$ ),
- система координат, связанная с ротором машины ( $d, q$ ),
- а также система координат ( $x, y$ ), соориентированная на вектор магнитного потока в статоре  $\underline{\psi}_1$  и вращающаяся с частотой  $n_k = \omega_1$ .

Векторное регулирование (ВР) осуществляется в системе координат ( $x, y$ ).

Для ВР необходимо производить довольно много координатных преобразований. На рисунке 6, на примере вектора тока ротора  $\underline{i}_2$ , выборочно показаны формулы преобразования между системами координат ( $\alpha, \beta$ ) и ( $x, y$ ):

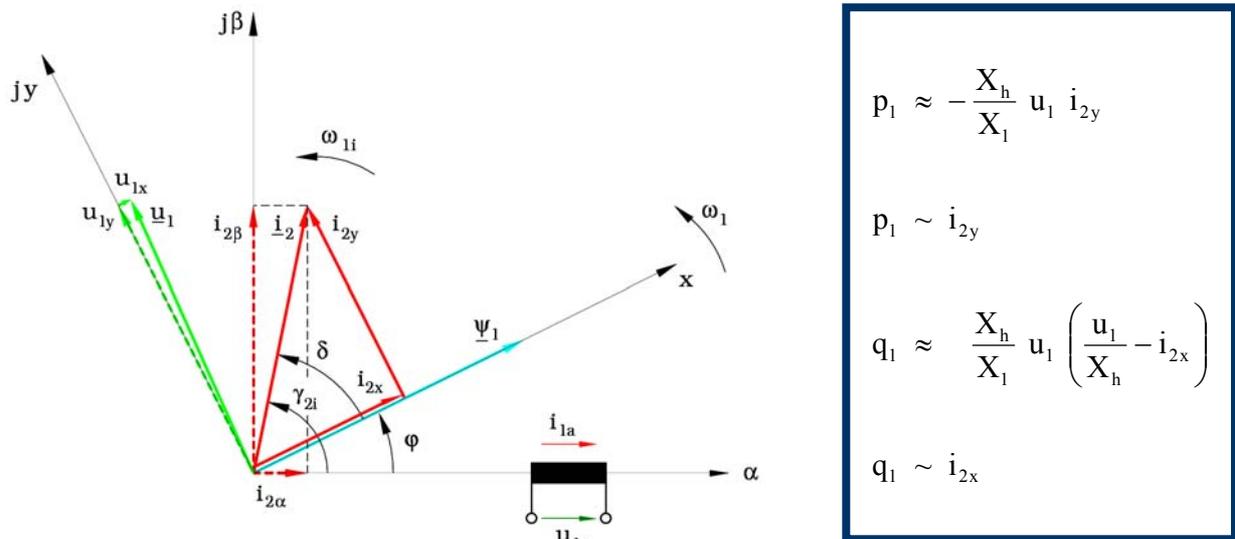


Рис. 6: Разложение пространственного вектора тока ротора на x- и y-компоненты, определяющие соответственно активную и реактивную мощности АДП

Для системы координат ( $\alpha, \beta$ ) имеем

$$\underline{i}_2(\alpha, \beta) = i_{2\alpha} + j i_{2\beta} = |\underline{i}_2| e^{j\gamma_{2i}} \quad (3)$$

Во вращающейся с частотой  $\omega_1$  системе координат ( $x, y$ ) для пространственного вектора комплексного тока ротора соответственно получаем

$$\underline{i}_2(x, y) = i_{2x} + j i_{2y} = |\underline{i}_2| e^{j\delta} \quad (4)$$

Скомбинировав выражения (3) и (4) друг с другом, с учётом выражения (5)

$$\gamma_{2i} = \phi + \delta \quad (5)$$

приходим к следующим формулам преобразования (см. рис. 6):

$$\underline{i}_2(\alpha, \beta) = \underline{i}_2(x, y) e^{j\phi} \quad (6)$$

$$\underline{i}_2(x, y) = \underline{i}_2(\alpha, \beta) e^{-j\phi}$$

Исходным пунктом математического формулирования принципов векторного регулирования является известная система уравнений, описывающая динамические соотношения асинхронной машины во вращающейся со скоростью  $n_k$  системе координат:

$$\frac{d\underline{\psi}_1}{dt} = \underline{u}_1 - R_1 \underline{i}_1 - j n_k \underline{\psi}_1 \quad (7)$$

$$\frac{d\underline{\psi}_2}{dt} = \underline{u}_2 - R_2 \underline{i}_2 - j (n_k - n) \underline{\psi}_2 \quad (8)$$

$$\underline{\psi}_1 = X_1 \underline{i}_1 + X_h \underline{i}_2 \quad (9)$$

$$\underline{\psi}_2 = X_h \underline{i}_1 + X_2 \underline{i}_2 \quad (10)$$

$$m_i = \underline{\psi}_1 \times \underline{i}_1 = \frac{X_h}{X_2} (\underline{\psi}_2 \times \underline{i}_1) \quad (11)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{T_A} (m_i - m_w) \quad (12)$$

Все переменные и параметры, используемые в данных уравнениях, приведены к нормальному виду. Для этого применяются обычные нормирующие величины (индекс В):

$$\begin{aligned} f_B &= f_{1n} & U_B &= \sqrt{2} U_{1n} \\ n_B &= \frac{f_{1n}}{p} & I_B &= \sqrt{2} I_{1n} \\ \omega_B &= \omega_{1n} = 2\pi f_{1n} & R_B &= X_B = \frac{U_B}{I_B} \end{aligned} \quad (13)$$

$$t_B = \frac{1}{\omega_B} = \frac{1}{2\pi f_{1n}} \quad \psi_B = \frac{U_B}{\omega_B} = \frac{\sqrt{2} U_{1n}}{2\pi f_{1n}}$$

$$M_B = \frac{P_B}{\omega_B / p} = \frac{3 p U_{1n} I_{1n}}{2\pi f_{1n}}$$

$$T_A = \omega_B \frac{J \omega_B / p}{M_B} \quad (14)$$

является в данном случае нормированной постоянной времени разгона.

В отличие от регулирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором напряжение ротора АДП не равно нулю, следовательно, оно должно учитываться в дифференциальном уравнении для напряжения ротора.

Как отмечалось выше, при АДП регулирование осуществляется в системе координат  $(x, y)$ , соориентированной на вектор комплексного магнитного потока в статоре  $\underline{\psi}_1$ :

При этом выполняются следующие соотношения:

$$n_k = \omega_1 \quad (15)$$

$$\underline{\psi}_1 = \psi_{1x} \quad \psi_{1y} = 0 \quad \frac{d\psi_{1y}}{dt} = 0 \quad (16)$$

С учётом уравнений (9) и (10) получаем для АДП следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{d\psi_{1x}}{dt} + \frac{R_1}{X_1} \psi_{1x} = u_{1x} + X_h \frac{R_1}{X_1} i_{2x} \quad (17)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega_1 = \frac{u_{1y}}{\psi_{1x}} + X_h \frac{R_1}{X_1} \frac{i_{2y}}{\psi_{1x}} \quad (18)$$

$$m = -\frac{X_h}{X_1} \psi_{1x} i_{2y}, \quad (19)$$

дополненные уравнением вращения

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{T_A} (m - m_w). \quad (20)$$

Для вращения ротора относительно статора опять выполняется условие

$$\frac{d\vartheta}{dt} = n. \quad (21)$$

### 3. Установившийся режим

В установившемся режиме все переменные величины, приведенные к вращающейся совместно с пространственным вектором комплексного магнитного потока в статоре системе координат  $(x, y)$ , становятся неизменными во времени. При этом имеем:

$$\frac{d\underline{\psi}_1}{dt} = 0 \quad (22)$$

$$\omega_1 = 1 \quad (\text{без нормирования: } \omega_1 = \omega_{1n}). \quad (23)$$

Из нормированного уравнения для напряжения статора

$$\frac{d\underline{\psi}_1}{dt} = \underline{u}_1 - R_1 \dot{i}_1 - j \omega_1 \underline{\psi}_1 \quad (24)$$

сразу же следует выражение (25)

$$\underline{u}_1 = R_1 \dot{i}_1 + j \underline{\psi}_1 \quad (25)$$

С учётом уравнения (10)

$$\underline{\psi}_1 = \psi_{1x} \quad \psi_{1y} = 0$$

окончательно, для напряжения статора, получаем следующие соотношения:

$$u_{1x} = R_1 i_{1x} \quad (26)$$

$$u_{1y} = R_1 i_{1y} + \psi_{1x} \quad (27)$$

$$u_{1x} \ll u_{1y} \approx u_1 \quad (28)$$

$$\psi_{1x} \approx u_{1y} \approx u_1 \quad (29)$$

Таким образом видно, что пространственные комплексные векторы напряжения  $\underline{u}_1$  и магнитного потокосцепления статора  $\underline{\psi}_1$  практически перпендикулярны друг другу (отклонение  $\approx 2^\circ$ ) и имеют (в нормированном виде) примерно одинаковое значение по амплитуде.

#### 4. Активная и реактивная мощности

Для активной и реактивной мощностей, потребляемых асинхронной машиной, в ненормированном виде имеем следующие выражения:

$$p_1 = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\underline{u}_1 \cdot \dot{i}_1^*] \quad (30)$$

$$q_1 = \frac{3}{2} \operatorname{Im} [\underline{u}_1 \cdot \dot{i}_1^*] \quad (31)$$

**Примечание:** для установившегося режима уравнения (30) и (31) приводятся к известным выражениям для активной и реактивной мощности трёхфазной сети

$$P = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad Q = 3 U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

Для установившегося режима получаем:

$$\underline{u}_1 = \hat{U}_1 e^{j\omega_1 t}$$

$$\underline{i}_1 = \hat{I}_1 e^{j(\omega_1 t - \varphi_1)}$$

$$\underline{i}_1^* = \hat{I}_1 e^{-j(\omega_1 t - \varphi_1)}$$

$$p_1 = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\underline{u}_1 \cdot \underline{i}_1^*] = \frac{3}{2} \hat{U}_1 \hat{I}_1 \operatorname{Re} [e^{j\varphi_1}] = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$q_1 = \frac{3}{2} \hat{U}_1 \hat{I}_1 \operatorname{Im} [e^{j\varphi_1}] = 3 U_1 I_1 \sin \varphi_1.$$

В нормированном виде соответственно имеем

$$p_1 = \operatorname{Re} [\underline{u}_1 \cdot \underline{i}_1^*] = u_{1x} i_{1x} + u_{1y} i_{1y} \quad (32)$$

$$q_1 = \operatorname{Im} [\underline{u}_1 \cdot \underline{i}_1^*] = u_{1y} i_{1x} - u_{1x} i_{1y} \quad (33)$$

С учётом того, что  $u_{1x} \ll u_{1y}$ , выражения (32) и (33) упрощаются и приводят к выражениям (34) и (35) соответственно:

$$p_1 \approx u_{1y} i_{1y} \approx u_1 i_{1y} \quad (34)$$

$$q_1 \approx u_{1y} i_{1x} \approx u_1 i_{1x}. \quad (35)$$

Учитывая также, что

$$\underline{\psi}_1 = X_1 \underline{i}_1 + X_h \underline{i}_2$$

$$\psi_{1x} = X_1 i_{1x} + X_h i_{2x}$$

$$0 = X_1 i_{1y} + X_h i_{2y}$$

и между токами статора и ротора в системе координат (x,y) действуют соотношения

$$i_{1x} = \frac{\psi_1}{X_1} - \frac{X_h}{X_1} i_{2x} \approx \frac{u_1}{X_1} - \frac{X_h}{X_1} i_{2x} \quad (36)$$

$$i_{1y} = -\frac{X_h}{X_1} i_{2y} \quad (37)$$

получаем окончательно выражения для активной и реактивной мощности в статоре:

$$p_1 \approx -\frac{X_h}{X_1} u_1 i_{2y} \quad (38)$$

$$q_1 \approx \frac{X_h}{X_1} u_1 \left( \frac{u_1}{X_h} - i_{2x} \right). \quad (39)$$

Выражения (38) и (39) показывают полную независимую развязку для активной и реактивной мощности в случае асинхронной машины с двойным питанием. Обе величины могут напрямую управляться с помощью только одной соответствующей компоненты тока ротора АДП:

$$p_1 \sim i_{2y}$$

$$q_1 \sim i_{2x}$$

Первый член  $\left(\frac{u_1^2}{X_1}\right)$  в выражении (39) соответствует реактивной мощности намагничивания традиционных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, питаемых от трёхфазной сети.

## 5. Структура векторного регулирования

Рисунок 7 изображает структурную схему векторного регулирования АДП с внешними цепями управления активной и реактивной мощности и вспомогательными цепями управления для x- и y-компоненты пространственного вектора комплексного тока ротора. Сначала измеряются и вычисляются при этом

- $\alpha, \beta$ -компоненты пространственных векторов комплексного тока и напряжения статора,
- d, q - компоненты пространственного вектора комплексного тока ротора,
- позиционный угол ротора  $\vartheta$  с помощью импульсного датчика вращения.

С помощью математической модели машины из измеренных величин рассчитываются реальные значения для активной и реактивной мощности (p и q соответственно), а также угол  $(\varphi - \vartheta)$ , необходимый для координатных преобразований. Далее, как это принято в технике электропривода, все четыре регулятора выполняются по схеме PI-регулятора. Ведущие значения всегда обозначаются значком \*, например  $p^*$ .

На рисунке 8 изображена для сравнения классическая структурная схема ВР АДКЗ.

## 6. Схема регулирования тока ротора и развязка (компенсация)

Для выбора нужных настроек в схеме регулирования тока ротора необходимо знание параметров отдельных цепей управления. С помощью элиминирования магнитного потока ротора и тока статора из следующей системы уравнений:

$$u_{2x} = R_0 i_{2x} + \sigma X_2 \frac{di_{2x}}{dt} - \frac{X_h}{X_1} \frac{R_1}{X_1} \psi_{1x} - \sigma X_2 \omega_2 i_{2y} + \frac{X_h}{X_1} u_{1x} \quad (40)$$

$$u_{2y} = R_0 i_{2y} + \sigma X_2 \frac{di_{2y}}{dt} - \frac{X_h}{X_1} n \psi_{1x} + \sigma X_2 \omega_2 i_{2x} + \frac{X_h}{X_1} u_{1y} \quad (41)$$

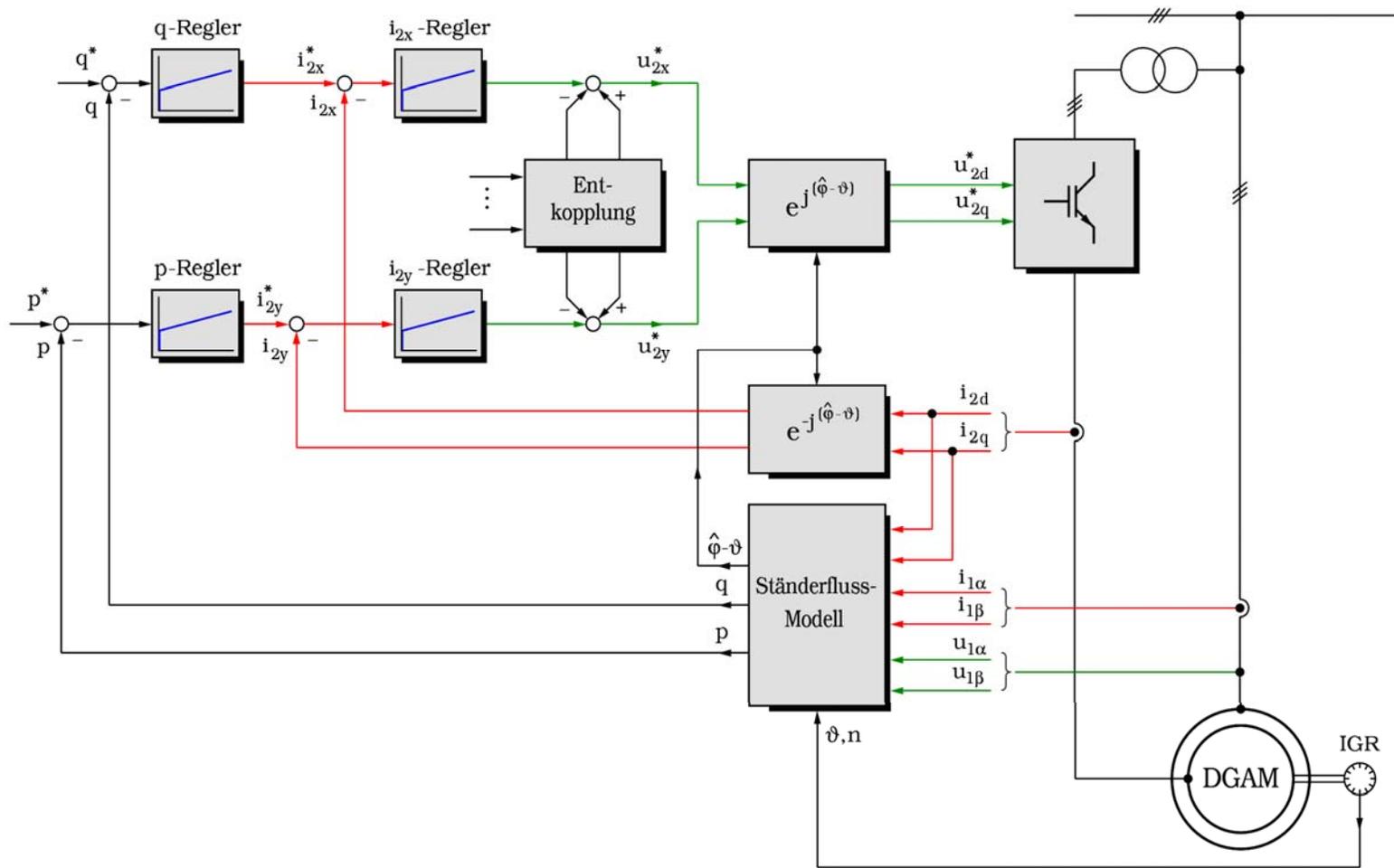


Рис. 7: Структурная схема регулирования активной и реактивной мощностей АМДП

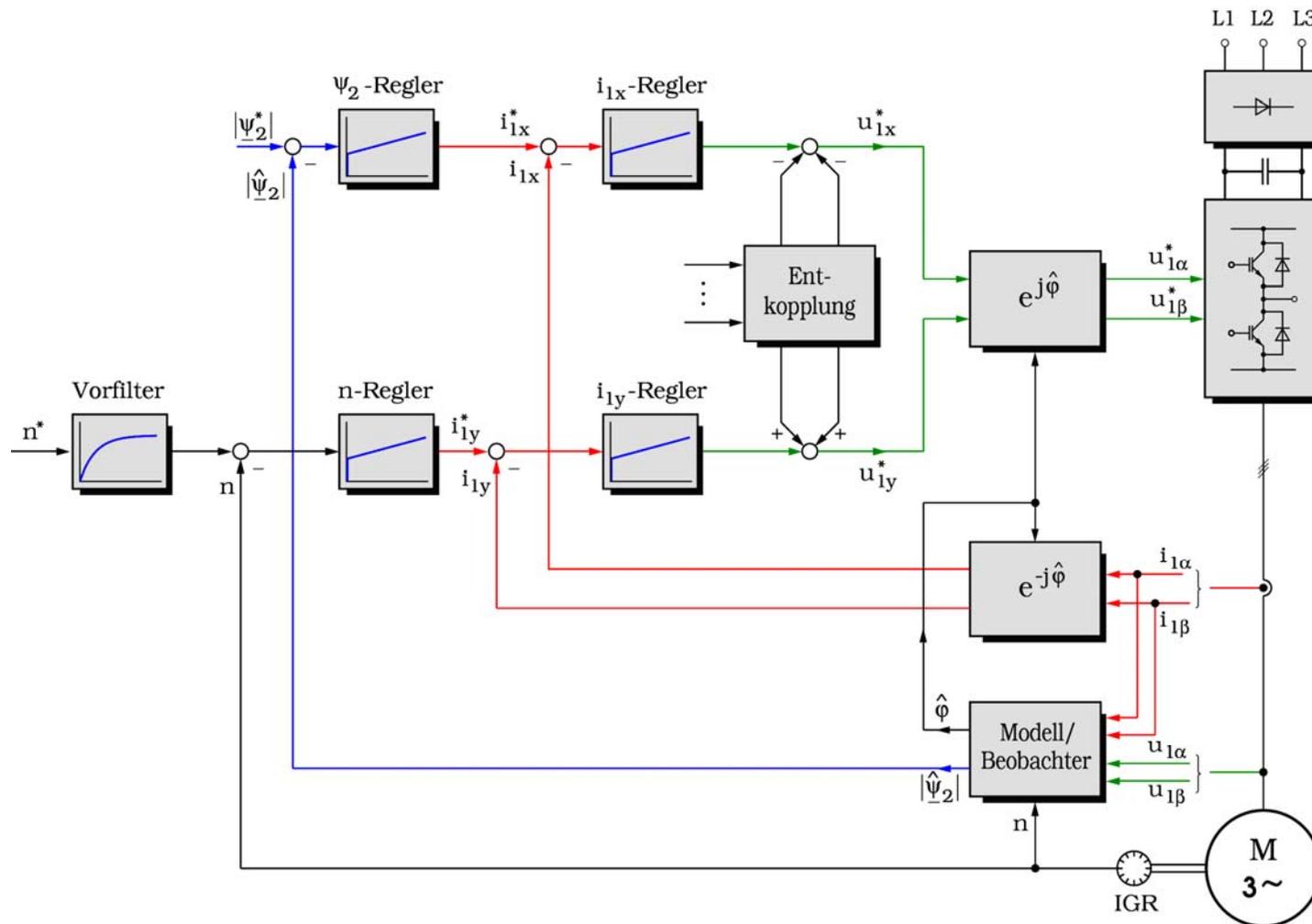


Рис. 8: Классическая структурная схема векторного регулирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ)

и учитывая при этом, что

$$R_0 = \left( \frac{X_h}{X_1} \right)^2 R_1 + R_2, \quad (42)$$

а также

$$\omega_2 = \omega_1 - n,$$

Все перекрёстно-связанные члены уравнений, как и в случае векторного регулирования асинхронного двигателя, компенсируются с помощью соответственно подобранных значений с обратным знаком, так что для обеих цепей управления получаются одинаково структурированные дифференциальные уравнения:

$$u_{2x} = R_0 i_{2x} + \sigma X_2 \frac{di_{2x}}{dt} \quad (43)$$

$$u_{2y} = R_0 i_{2y} + \sigma X_2 \frac{di_{2y}}{dt} \quad (44)$$

$$F_s(p) = \frac{i_{2x}(p)}{u_{2x}^*(p)} = \frac{i_{2y}(p)}{u_{2y}^*(p)} = \frac{1/R_0}{(1+p T_u)(1+p \sigma X_2/R_2)}. \quad (45)$$

Преобразователь изображается при этом с помощью инерционного звена 1-го порядка с постоянной времени  $T_u$ .

Для параметров регулятора получают установки по оптимальному модулю амплитуды:

$$T_N = \sigma X_2 / R_0 \quad (46)$$

$$k_R = \frac{1}{2} \frac{\sigma X_2}{T_u}. \quad (47)$$

На рисунке 9 показаны цепи регулирования тока ротора с развязкой (динамической компенсацией).

#### Для сравнения:

При векторном регулировании асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для цепей регулирования по току имеем следующие дифференциальные уравнения:

$$u_{1x} = R_0 i_{1x} + \sigma X_1 \frac{di_{1x}}{dt} - \frac{X_h}{X_2} \frac{R_2}{X_2} \psi_{2x} - \sigma X_1 \omega_1 i_{1y} \quad (48)$$

$$u_{1y} = R_0 i_{1y} + \sigma X_1 \frac{di_{1y}}{dt} + \frac{X_h}{X_2} n \psi_{2x} + \sigma X_1 \omega_1 i_{1x}, \quad (49)$$

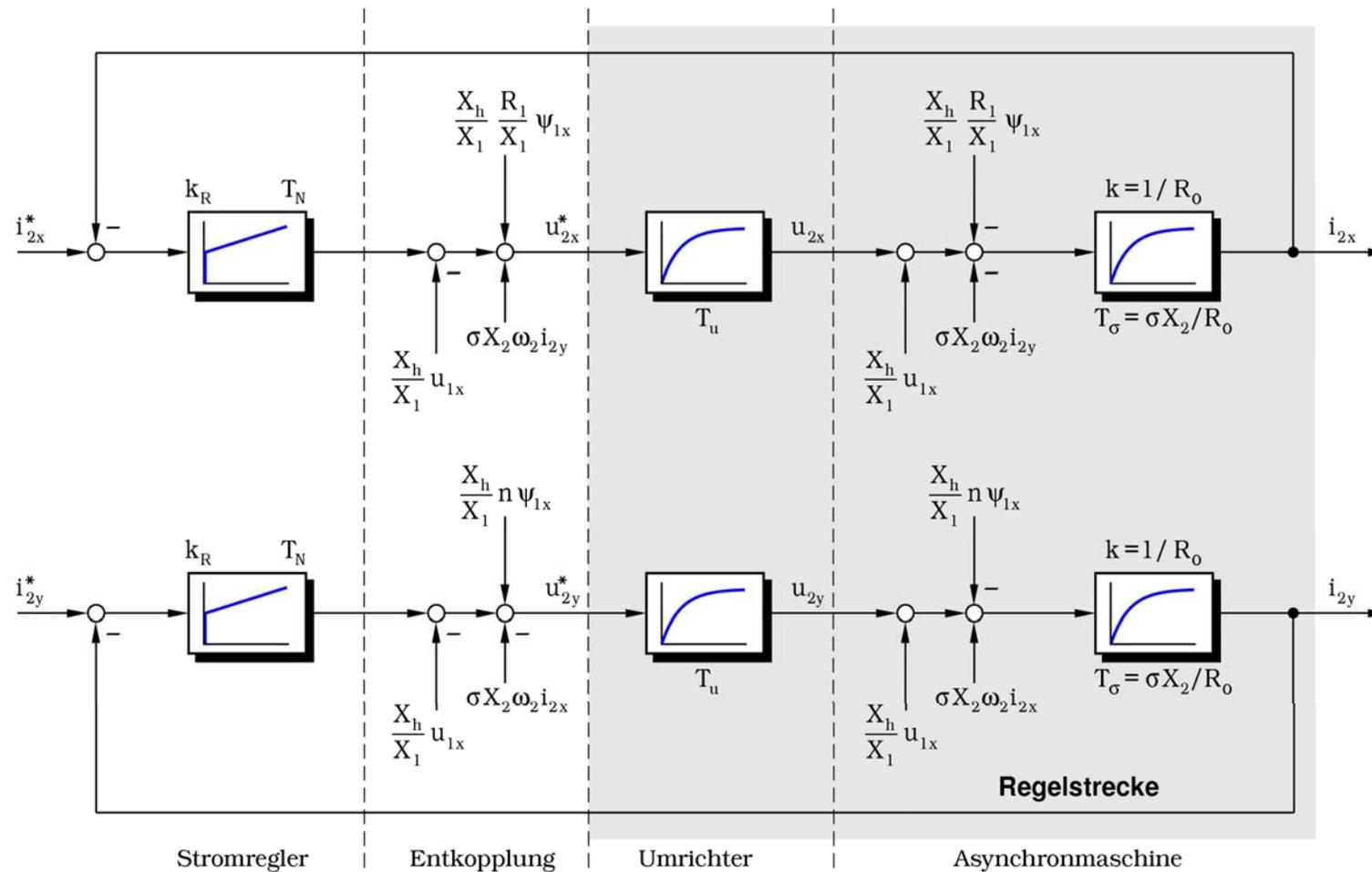


Рис. 9: Цепи регулирования тока ротора с развязкой (динамическая компенсация)

После динамической компенсации перекрёстно-связанных членов из данных уравнений окончательно получаем выражение передаточной функции для цепи регулирования по току:

$$F_s(p) = \frac{i_{1x}(p)}{u_{1x}^*(p)} = \frac{i_{1y}(p)}{u_{1y}^*(p)} = \frac{1/R_0}{(1+p T_u)(1+p \sigma X_1/R_0)}, \quad (50)$$

причём для  $R_0$  верно выражение:

$$R_0 = R_1 + \left(\frac{X_h}{X_2}\right)^2 R_2 \quad (51)$$

Таким образом показано, что если поменять местами индексы для статора (1) и ротора (2) в соответствующих уравнениях, то для векторного регулирования АДП можно использовать те же соотношения для цепей регулирования и выбирать такие же установки для регуляторов, как и при векторном регулировании АДКЗ!

## 7. Схемы регулирования активной и реактивной мощностей

На рисунке 7 представлена каскадная схема регулирования активной и реактивной мощностей с вспомогательными цепями управления по току ротора.

Для анализа и оптимизации регулирования активной и реактивной мощностей передаточную функцию цепей управления по току ротора, настроенных на оптимальный модуль амплитуды, можно отобразить отдельно в виде инерционного звена 1-го рода с удвоенным времени задержки преобразователя:

$$F_i(p) = \frac{i_{2x}(p)}{i_{2x}^*(p)} = \frac{i_{2y}(p)}{i_{2y}^*(p)} = \frac{1}{1+p 2 T_u} \quad (52)$$

Согласно уравнениям (38) и (39) соответственные функции передачи представляют собой Р-звенья:

$$F_p(p) = \frac{p(p)}{i_{2y}(p)} = -\frac{X_h}{X_1} u_1 \quad (53)$$

$$F_q(p) = \frac{q(p)}{i_{2x}(p)} = -\frac{X_h}{X_1} u_1 \quad (54)$$

Заметим также, что ток намагничивания ( $i_\mu = \frac{u_1}{X_1}$ ) представляет собой величину

помехи в цепи регулирования реактивной мощности. Однако, поскольку при работе с относительно неизменным напряжением сети, он имеет практически постоянное значение, то его не нужно динамически компенсировать с помощью развязки. На рисунке 10 представлена блочная схема цепей регулирования активной и реактивной составляющих мощности АДП.

Настройка регулятора мощности выполняется по оптимальному модулю амплитуды. В отличие от регулирования по току, при изменениях ведущей величины в этом случае недопустимо превышение истинных значений мощности. Т.е. регулирование должно производиться так, чтобы относительный коэффициент сглаживания замкнутой цепи регулирования был больше либо равен 1, в то время как при регулировании по току стремятся к относительному коэффициенту сглаживания, равному  $\sqrt{2}/2 \approx 0,7071$ .

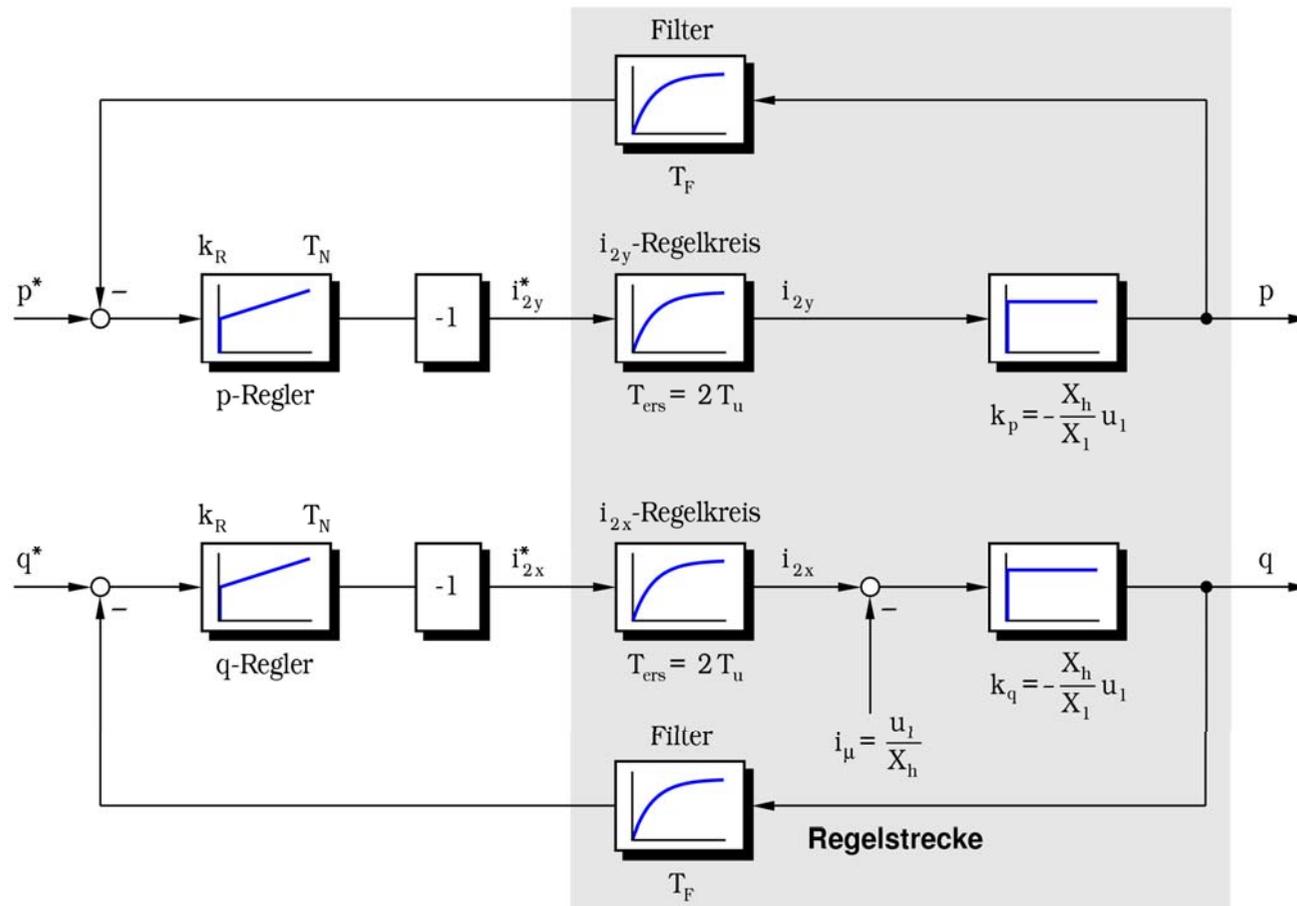


Рис. 10: Цепи регулирования активной и реактивной составляющих мощности АМДП

## 8. Данные самой большой ветроэлектростанции в мире

В ноябре 2004 вблизи г.Брунсбюттель (Brunsbüttel) была запущена самая большая в мире ветроэлектростанция с номинальной мощностью 5 МВт. Её гигантские размеры поражают воображение. Например, ротор описывает своими крыльями, с диаметром 126 м в окружности, площадь, в которую без труда помещается целое футбольное поле (см. рис. 11). Одна только гондольная часть (без ротора) весит 290 тонн.

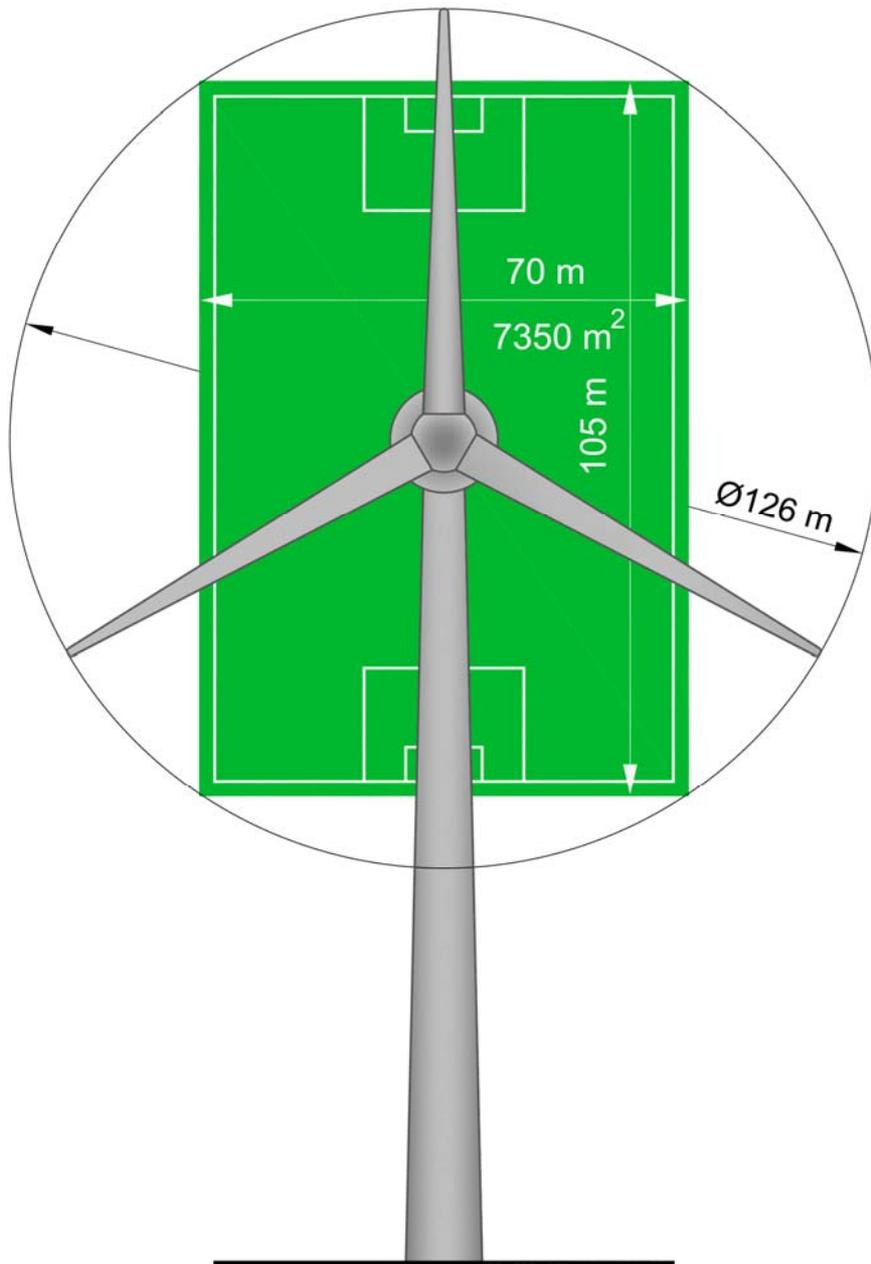


Рис. 11: 5 МВт-ВЭУ

### Основные параметры ВЭУ :

Номинальная мощность	5000 кВт
Включение при скорости ветра	3,5 м/с
Номинальная скорость ветра	13 м/с
Отключение при скорости ветра	30 м/с (offshore)
Масса гондолы	290 тонн
Масса ротора	120 тонн
Область скорости вращения ротора	6,9 – 12,1 мин <sup>-1</sup>
Передача	комбинированная, планетарно-зубчатая
Передаточное число	$i \approx 97$
Масса передачи	63 тонны

Генератор для 5 МВт-ВЭУ был сконструирован и произведен Саксонским заводом (Sachsenwerk).

### Основные параметры генератора:

Номинальная мощность	5400 кВт
Номинальная полная мощность	5684 кВА
Номинальная частота вращения	1170 мин <sup>-1</sup>
Область частоты вращения	670 ... 1339 мин <sup>-1</sup>
Число пар полюсов	3
Напряжение статора (линейное напряжение) (связанное)	950 В
Номинальный ток статора	3019 А
Напряжение холостого хода в роторе (связанное)	1920 В
Номинальный ток ротора	1696 А
Сечение проводников в роторе (h x b)	30 x 18 мм <sup>2</sup>
Длина статора	400 мм
Масса статора	17 тонн

FEDERAL AGENCY ON EDUCATION  
SAINT-PETERSBURG STATE MINING UNIVERSITY



# DIPLOMA

IS AWARDED TO

**IMENOKHOEV**

**Ivan**

**for the 1<sup>st</sup> place**

at the International Forum of Young Researchers

«Topical Issues of Subsoil Usage»

April 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup>, 2008

Project leader



*N.I. Baklanov*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ  
(технический университет)



# ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

**ИМЕНОХОЕВ**

**Иван**

**за I место**

на международном форуме  
молодых ученых

«Проблемы недропользования»

23-25 апреля 2008 г.

Руководитель



*И.И. Белин*



Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова  
(технический университет)



*МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ*

## **ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

*23 – 25 апреля 2008 г.*

**ПРОГРАММА**



Санкт-Петербург  
2008