

Ф. НОВОД

О ПРИМЕНЕНИИ УСТАНОВОК ПРОДОЛЬНО-ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Большое значение для получения наибольшего экономического эффекта при потреблении электроэнергии имеет оптимизация режимов напряжения у потребителей, что особенно актуально для сельских распределительных сетей, передаваемая мощность которых значительно превышает запроектированную. В таких случаях следует применять установки регулирования напряжения. Одним из возможных способов регулирования напряжения является включение в высоковольтную линию передачи среднего напряжения последовательно присоединенной емкости — так называемой установки продольно-емкостной компенсации (ПЕК).

Однако на пути широкого внедрения этих, в сущности, довольно простых и надежных установок возникает ряд трудностей. В настоящей статье рассматриваются методы преодоления этих трудностей. Вопрос этот охватывает общие теоретические основы применения установок регулирования напряжения, а также специальные проблемы, связанные с применением установок ПЕК в качестве средства регулирования напряжения. В статье приводятся результаты определения комплексного эффекта от применения опытной установки ПЕК на базе макета, имитирующего реально существующую сеть, а также дается оценка работы установки ПЕК в различных условиях нагрузки.

Теоретические основы применения установок регулирования напряжения

При оценке эффективности капиталовложений на установку регулирования напряжения из реальной цепи электропередачи мысленно выделяется участок, содержащий исследуемую установку. Это следует проводить таким образом, чтобы напряжение в начале участка можно было бы считать независимым от действия установки. В дальнейшем исследуется в основном детальная схема замещения этого участка цепи от его начальной точки до вводов всех потребителей электроэнергии.

Оценка ведется путем сопоставления общих расчетных затрат по двум вариантам детальной схемы замещения — исходного варианта, не содержащего исследуемую установку регулирования напряжения, и варианта с установкой. Выбор средств регулирования напряжения производится на основании сопоставления исходного варианта со сравнительными вариантами, содержащими различные средства регулирования напряжения.

За основу берется исходный вариант, из которого путем ввода исследуемой установки регулирования напряжения получается сравнительный вариант. В дальнейшем изложении применяются следующие сокра-

щенные обозначения единиц измерения, относительные величины и пересчетные единицы: для тока — a , напряжения — $kв$ и $U^* = U/U_{ном}$, мощности — $квт$, $квар$, потребления электроэнергии — $квт \cdot ч$, сопротивления — $ом$ и ($R^* = \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot R/U_{ном}$, $X^* = \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot X/U_{ном}$) в a^{-1} .

Эффективность $\Delta K''$ выражается следующим образом: $\Delta K'' = \Delta K''_U + \Delta K''_W + \Delta K''_E + \Delta K''_K$ руб./год, где $\Delta K''_U$; $\Delta K''_W$; $\Delta K''_E$; $\Delta K''_K$ — компоненты, учитывающие изменения напряжения на зажимах установок потребления электроэнергии ($\Delta K''_U$), потерь при передаче электрической энергии ($\Delta K''_W$), амортизационных отчислений, расходов на ремонт и эксплуатацию ($\Delta K''_E$) и капиталовложений ($\Delta K''_K$), вызванные применением установки регулирования напряжения.

Обозначая эффективность любого другого сравнительного варианта через $\Delta K'''$, получим следующее выражение, характеризующее второй вариант по сравнению с первым (содержащим установку ПЕК):

$$(\Delta K''' / \Delta K'') = (\Delta K'''_U / \Delta K''_U) (\Delta K''_U / \Delta K'') + (\Delta K'''_W / \Delta K''_W) (\Delta K''_W / \Delta K'') + (\Delta K'''_E / \Delta K''_E) (\Delta K''_E / \Delta K'') + (\Delta K'''_K / \Delta K''_K) (\Delta K''_K / \Delta K'').$$

Таким образом, решение поставленной задачи требует определения указанных компонентов эффективности. В общем виде они выражаются следующим образом:

Компонент, обусловленный изменением напряжения у потребителей, может быть определен по методике, разработанной французским ученым М. П. Айере [1-3]. В соответствии с этим издержки $K_{U_{ti}}$, вызванные работой отдельной установки ti при напряжении, отличном от номинального, выражаются в общем виде следующей функцией:

$$K_{U_{ti}} = (A_{U_{ti}}^* P_{ном_{ti}} u_{ti}^* + B_{U_{ti}}^* P_{ном_{ti}} u_{ti}^{*2} + C_{U_{ti}}^* P_{ном_{ti}} u_{ti}^{*3} + \dots) T \text{ руб.},$$

где $A_{U_{ti}}^*$; $B_{U_{ti}}^*$; $C_{U_{ti}}^*$; ... — коэффициенты для установки ti , в руб./квт·ч.

Для установки, сконструированной на номинальное напряжение, $A_{U_{ti}}^* = 0$ (по [1] и другие члены, кроме $B_{U_{ti}}^*$, можно в первом приближении приравнять нулю);

$P_{ном_{ti}}$ — номинальная мощность установки ti ;

u_{ti}^* — относительное отличие напряжения на зажимах установки U_{ti} от номинального напряжения $U_{ном_{ti}}$; $u_{ti}^* = U_{ti}^* / U_{ном_{ti}}$ — 1,0;

T — время работы установки ti .

Распространение выражения $K_{U_{ti}}$ на комплекс установок, состоящий в общем случае из n числа различных установок ti с напряжением на зажимах $U_{ti}(t)$ и с соответствующей номинальному напряжению $U_{ном_{ti}}$ мощностью $P_{ном_{ti}}(t)$, дает следующее выражение для установления эффекта, обусловленного изменением напряжения у потребителей за время T_j (один год):

$$\Delta K''_U = K'_U - K''_U = \sum_{ti=1}^{in} B_{U_{ti}}^* W_{ном_{ti}} \Delta M_{Tj} [u_{ti}^{*2} (\omega_{ном_{ti}})],$$

где $W_{\text{ном}ii}$ — потребление электроэнергии установкой ti при номинальном напряжении за время T_j ;

$$\Delta M_{Tj}[u_{ii}^{*2}(\omega_{\text{ном}ii})] = M_{Tj}[u_{ii}^{*2}(\omega_{\text{ном}ii})] - M_{Tj}[u_{ii}^{*2}(\omega_{\text{ном}ii})];$$

$$M_{Tj}[u_{ii}^{*2}(\omega_{\text{ном}ii})] = W_{\text{ном}ii}^{-1} \int_0^{W_{\text{ном}ii}} u_{ii}^{*2}(\omega_{\text{ном}ii}) d\omega_{\text{ном}ii};$$

K'_U ; K''_U — издержки в исходном (') и сравнительном (") вариантах.

Компонент, обусловленный изменением потерь электроэнергии при передаче, выражается разностью издержек исходного (K'_W) и сравнительного (K''_W) вариантов:

$$\Delta K''_W = K'_W - K''_W = -3 \cdot B_W T_j \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n \{\Delta M_{Tj}[I_i^2(t)] R_i\},$$

где B_W — стоимость потерь энергии, руб./квт · ч;

$$\Delta M_{Tj}[I_i^2(t)] = M_{Tj}[I_i^2(t)] - M_{Tj}[I_i^2(t)];$$

$$M_{Tj}[I_i^2(t)] = T_j^{-1} \int_0^{T_j} I_i^2(t) dt;$$

$I_i(t)$ — ток в элементе передачи i ;

R_i — сопротивление элемента i .

Компонент $\Delta K''_E$, обусловленный различием в затратах на обслуживание, ремонт, амортизационные отчисления и т. д.

Компонент, обусловленный различием в капиталовложениях, выражается следующим образом:

$$\Delta K''_K = \Delta K_k T_{\text{норм}}^{-1},$$

где $\Delta K_k = K'_k - K''_k$ — различие в капиталовложениях (по абсолютному значению равно стоимости установки регулирования напряжения);

$T_{\text{норм}}$ — нормативный срок окупаемости.

Предпосылкой для определения указанных компонентов является в первую очередь вычисление необходимых интегральных электрических показателей исследуемой цепи передачи электроэнергии и решение ряда специфических для каждой установки регулирования напряжения вопросов. Для анализа выражений эффективности они даются в виде суммы комбинаций характерных компонентов.

Для определения компонентов эффективности необходимых интегральных электрических показателей разработана методика. Весь ход

вычислений приводится по отдельным этапам. За основу при составлении выражений взято среднее значение произведений двух величин общего вида $X(z)$ и $Y(z)$ для исследуемого промежутка времени T_j в виде

$$M_{T_j}[X(z) Y(z)] = M_{T_j}[X(z)] M_{T_j}[Y(z)] \{ 1,0 + K_{T_j}[X(z) Y(z)] / \{ M_{T_j}[X(z)] M_{T_j}[Y(z)] \} \},$$

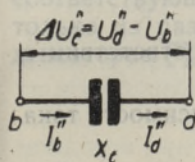
где $1,0 + K_{T_j}[X(z) Y(z)] / \{ M_{T_j}[X(z)] M_{T_j}[Y(z)] \}$ — поправочный множитель, где $K_{T_j}[X(z) Y(z)]$ — корреляционный момент. В этом случае расчетные формулы в общем подобны классическим формулам мгновенных значений (поскольку они имеются), отличаясь от них только наличием средних значений (вместо мгновенных) и поправочного множителя. Это во многом упрощает многочисленные расчеты, так как поправочные множители (часто $1,0, \approx 1,0$ или близкие к единице) могут быть определены соответственно специфическим энергетическим условиям. За отправные данные для исходного варианта избраны уже установившиеся для него активные и реактивные токи в элементах детальной схемы замещения, зависимость тока от напряжения, а также напряжение в какой-либо точке.

Взятая в основу расчета детальная схема замещения исследуемой цепи для передачи электрической энергии, доходящая вплоть до зажимов установок потребления электроэнергии, представляет собой в большинстве случаев очень обширную систему. Поэтому составлено общее решение, в котором детальная схема замещения передачи электроэнергии заменена упрощенной схемой с одним фиктивным потребителем. На основе этого решения составлена упрощенная схема замещения трансформаторного района низкого напряжения, параметры которой можно определить как исходя из конкретного района, так и на основе обобщенных показателей. Дается также упрощенная схема замещения части цепи передачи, которая охватывает сеть среднего напряжения вместе с сетями низкого напряжения. При ее определении в расчет можно, в свою очередь, ввести передачу низкого напряжения в виде упрощенной схемы замещения.

Для расчетов берутся оптимизированные исходный и сравнительный варианты.

Специальные вопросы применения установок продольно-емкостной компенсации

Непосредственное электрическое воздействие установок ПЕК характеризуется в достаточной мере генерируемой реактивной энергией Q_C'' (см. рисунок)



Принципиальная электрическая схема установки ПЕК.

$$Q_C''(t) = 3 \cdot I_d''^2(t) X_C \cdot 10^{-3}$$

и изменением напряжения на зажимах установки ПЕК. Последнее не может быть определено с достаточной точностью с помощью обычных формул, применяемых для вычисления изменений напряжения. Изменение напряжения на зажимах установки ПЕК точно определяется следующим выражением:

$$\Delta U_C''(t) = \sqrt{3} \cdot I_d''(t) \sin \varphi_d''(t) X_C \cdot 10^{-3} - \left[U_b''(t) - \sqrt{U_b''^2(t) - 3 \cdot I_d''^2(t) \cos^2 \varphi_d''(t) \cdot 10^{-6}} \right].$$

Преобразуя с достаточной точностью это выражение в более удобное для интегрального вычисления, получим

$$\Delta U_c^{**}(t) = \Delta U_c''(t) / U_{ном\ c} = \Delta U_{c1}^{**}(t) + \Delta U_{cII}^{**}(t),$$

где $\Delta U_{c1}^{**}(t) = X_c^* I_{реакт\ d}''(t)$; $\Delta U_{cII}^{**} = a_{cII}^*(t) I_{акт\ d}''^2(t)$;

$$X_c^* = \sqrt{3} \cdot 10^{-3} X_C / U_{ном\ c}; \quad a_{cII}^*(t) = -X_c^2 / [2U_b''(t)];$$

$U_{ном\ c}$ — номинальное напряжение установки ПЕК.

По вышеприведенной точной формуле можно составить выражение для относительного изменения напряжения:

$$\zeta(t) = \Delta U_c''(t) / U_b''(t) = [I_d''(t); \cos \varphi_d''(t); U_b''(t); X_C]$$

и соответствующую наглядную универсальную номограмму [4], которая охватывает работу различных установок ПЕК и облегчает их проектирование.

Максимальное теоретически возможное изменение напряжения при соответствующем приемлемом сопротивлении X_C можно выразить в виде

$$\max \zeta = 1 / \cos \varphi_d'' - 1.$$

Токи сравнительного варианта на выходе установки ПЕК, которые входят в вышеприведенные формулы, в общем случае отличаются от соответствующих величин исходного варианта. При этом реактивный ток принципиально может быть определен по точке пересечения характеристических кривых выходного напряжения установки ПЕК и нагрузки. С достаточной точностью это выражается системой уравнений

$$\begin{cases} U_d^{**}(t) / U_b^*(t) = \{1,0 + [I_{реакт\ d}''(t) / I_{реакт\ d}'(t)] [\Delta U_c^{**}(t) / U_b^*(t)]\} - \\ \quad - [1,0 - U_b^{**}(t) / U_b^*(t)] \\ I_{реакт\ d}''(t) / I_{реакт\ d}'(t) = [U_d^{**}(t) / U_d^*(t)]^{\lambda I_{реакт\ d}''(t)}, \end{cases}$$

где ΔU_c^{**} — изменение напряжения, пересчитанное в соответствии с условиями исходного варианта;

$\lambda_{I_{реакт\ d}''}$ — показатель степени, характеризующий зависимость тока от напряжения.

Активный ток сравнительного варианта можно выразить так:

$$I_{акт\ d}''(t) = I_{акт\ d}'(t) [U_d^{**}(t) / U_d^*(t)]^{\lambda I_{акт\ d}''(t)},$$

где $U_d^{**}(t) = U_b^{**}(t) + \Delta U_c^{**}(t)$, причем можно принять

$$\Delta U_c^{**}(t) = X_c^* I_{реакт\ d}''(t) + a_{cII}^{**} I_{акт\ d}''^2(t).$$

Можно считать, что в первом приближении $U_b^{**}(t) = U_b^*(t)$.

Ненормальные явления (феррорезонанс и самовозбуждение асинхронных двигателей), которые могут возникать при применении установок ПЕК, зачастую не позволяют проектировать установки с параметрами, соответствующими теоретически возможным пределам повышения напряжения, как это выявлено опытным путем в ряде сельских сетей и на моделях. Эти явления уже обратили на себя внимание исследователей [5-8]. Однако из-за сложности расчетов, большого числа потребителей и изменяющихся условий нагрузок полученные результаты не могли быть использованы для прогноза возникновения ненормальных явлений в реальных сетях. Попытки устранить указанные ненормальные явления путем параллельного включения сопротивлений также не дали положительных результатов, приемлемых для практики.

В ходе данного исследования разработана методика, дающая простое универсальное решение этого вопроса [11]. Доказано, что при сетях с разными номинальными напряжениями и мощностями, но того же типа в течение года не возникает ненормальных явлений, если

$$X_c^* \leq \text{const} / I_{d \max}''$$

где $I_{d \max}''$ — максимальный ток (ток во время зимнего вечернего пика нагрузки) данного года.

Для исследуемых сельских сетей выяснилось, что $X_c^* \leq 0,2 / I_{d \max}''$. Предел возникновения ненормальных явлений дается на универсальной номограмме прямой [4, 11].

Основная схема установки ПЕК составлена, исходя из данных эксплуатации опытно-промышленных установок и анализа их стоимости таким образом, что установка может быть отключена от сети без перерыва в передаче электроэнергии [9].

Защита конденсаторов, в отличие от применяющихся систем, выбрана с таким расчетом, чтобы можно было отказаться от автоматического выключения при возникновении токов короткого замыкания. Наиболее подходящим для этих условий оказался принцип работы кольцевого разрядника очень простой конструкции, применяемого в ФРГ [10]. Этот разрядник состоит из двух медных изогнутых стержневых электродов, образующих защитный и шунтирующий разрядники. При возникновении перенапряжения в калиброванном межэлектродном промежутке защитного разрядника появляется дуговой разряд; он быстро переходит в кольцеобразный шунтирующий разрядник, где движется по кругу до соответствующего понижения силы тока. Защитная система, состоящая только из разрядника указанного типа, включенная параллельно конденсаторам [9], вполне оправдала себя в работе всех опытных установок.

Прикладная часть

В данной работе рассматриваются результаты эксплуатации установок продольно-емкостной компенсации, примененных в восьми случаях в сельских высоковольтных распределительных сетях с напряжением 10—35 кв. Максимальные нагрузки составляли 300—1500 кв·а, а сопротивления — 22—120 ом. Для опытного определения необходимых в интегральных исчислениях средних значений электрических величин и поправочных множителей (основываются на стандартных отклонениях и корреляционных моментах) составлена общая методика. На основе данных соответствующих измерений, проведенных на характерных этапах года, определены все необходимые показатели.

Составлена упрощенная методика для сравнения работы установок ПЕК в сетях при различных условиях нагрузки.

Ниже приводятся результаты теоретического и опытного исследования эффекта использования установок ПЕК для макета реальной опытной установки [9] и сети. Нагрузки в используемой в качестве макета исследуемой цепи передачи значительно превышали запроектированные величины. В сети во время максимальных нагрузок, особенно у отдаленных от точки питания потребителей электроэнергии, наблюдались напряжения, значительно более низкие, чем дозволенные минимальные значения. Во многих случаях напряжение было низким уже на низковольтных трансформаторных подстанциях, даже при высших дополнительных надбавках трансформаторов. Колебания напряжения, наблюдавшиеся в течение суток в различное время года, были значительными. Относительные потери электрической энергии в сети также были велики. Для улучшения условий напряжения (в первую очередь повышения минимального напряжения) необходимо было применить дополнительное регулирование. С этой целью в участок сети с большими колебаниями напряжения была включена опытная установка ПЕК на 900 *квa*. Параметры этой установки были определены с помощью универсальной номограммы [4] соответственно максимальному повышению напряжения при зимней максимальной нагрузке, с учетом границы возникновения ненормальных явлений. Следует оговориться, что, исходя из имеющихся в наличии конденсаторов, за величину сопротивления X_C взято 22 *ом*, т. е. немного ниже критического. Достигнутое при этом повышение напряжения было при максимальной нагрузке недостаточным из-за сравнительно высокого коэффициента мощности, а при малых нагрузках — зачастую значительно более высоким. Поэтому особый интерес представлял анализ комплексного эффекта применения установок ПЕК. Результаты исследования данного макета показали следующее:

1. Суммарная эффективность от применения установок ПЕК при $B_U^* = 0,45$ *руб./квт · ч* и $B_W = 0,01$ *руб./квт · ч* является положительной ($\Delta K'' = 4 \cdot 10^3$ *руб./год*, т. е. 0,0013 *руб./квт · ч*).

2. Компонент эффективности, полученный в результате изменения напряжения у потребителей электроэнергии, — положительный ($\Delta K_U'' = B_U^* \cdot 14,3 \cdot 10^3$ *руб./год*) и представляет собой уменьшение на 14% издержек, вызываемых отклонением напряжения в трансформаторных подстанциях низкого напряжения от его оптимальных величин.

3. Компонент эффективности, вызванный изменением потерь электрической энергии, — отрицательный ($\Delta K_W'' = -B_W \cdot 210 \cdot 10^3$ *руб./год*) и представляет собой увеличение издержек от потерь на 13%. При применении установки ПЕК нагрузки за установкой ПЕК вследствие изменения условий напряжения увеличиваются и там издержки возрастают на 23%. Повышение нагрузок вызывает и некоторое дополнительное увеличение издержек перед установкой ПЕК (9,4% от издержек при исходном варианте перед установкой).

4. Компонент эффективности, обусловленный изменением капиталовложений, является отрицательным и сравнительно небольшим ($\Delta K_K'' = -0,28 \cdot 10^3$ *руб./год*).

5. Сравнительный анализ установок ПЕК и других вариантов — оптимальное регулирование напряжения; параллельно включенные конденсаторы вместо установки ПЕК; реконструкция цепи передачи; теоретический вариант сравнения, исходящий из предположения, что без установки ПЕК на месте ее установления или только на подстанции

низкого напряжения можно (с помощью дополнительных надбавок трансформаторов) повысить среднее значение напряжения в такой же мере, как и с установкой ПЕК, — показывает, что для получения достоверных сравнительных данных необходимо довольно точно рассчитать сравниваемые варианты (этим требованиям отвечает разработанная при выполнении данного исследования методика расчета) и знать коэффициент B_U . Уточненные вычисления не являются задачей настоящей работы. Анализ ориентировочных данных показывает, что в нашем случае применение установки ПЕК экономичнее по сравнению с регулируемой напряжением с помощью дополнительных надбавок трансформаторов. При сравнительно малых численных значениях коэффициента B_U эффективными конкурентами установки ПЕК могут быть параллельно включенные в сеть конденсаторы (при очень малых численных значениях этого коэффициента и только при параллельно включенных конденсаторах эффективность будет положительной), при сравнительно больших — оптимальное регулирование. Реконструкция линии передачи остается на втором плане.

6. Исследование работы установки ПЕК в различных реальных условиях нагрузки показало, что характер нагрузок макета из-за сравнительно низкой степени электрификации не благоприятствует применению установки ПЕК. При более высокой степени развития электрификации и перспективных нагрузках сельских районов эффективность применения повышается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ailleret M. P., Bull. Soc. franç. électr., Jan. (1956).
2. Gaussens P., Electricité, n° 234 (1957).
3. Gaussens P., Bull. Assoc. suisse électr., n° 26 (1959).
4. Новод Ф., Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, 13, № 4 (1964).
5. Sathe M., Bull. Soc. franç. électr., Août (1951).
6. Воронов Л. И., Науч. труды Сев.-зап. науч. исслед. ин-та с. х., № 3 (1953).
7. Ибрагимов И. Э., Изв. Азерб. ССР. Сер. физ.-техн. и хим. наук, № 2 (1958).
8. Butler I. W., Concordia C., Electrical Engng, No. 56 (1937).
9. Novod F., Põllumajanduse mehhaniseerimine ja elektrifitseerimine, nr. 2 (1962).
10. Waldmann E., Mäckel F., Elektrizitätswirtschaft, Nr. 7 (1954).
11. Novod F., ENSV TA Toim., Füüs. Matem., 17, nr. 1, 83 (1968).

Институт термодинамики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21/VI 1967

F. NOVOD

JÄRJESTIKKOMPENSATSIOONISEADMETE RAKENDAMISEST KESKPINGEVÖRGUS

Ühe pingereguleerimiseseadmena on kasutamist leidnud elektrienergia ülekandeahelasse keskpinge järjestikku lülitatud kondensaatorid, nn. järjestikkompensatsiooniseade (JKS). Seni on nende põhimõtteliselt lihtsate ja töökindlate vahendite laiemal levikul olnud mitmeid takistusi. Käesolevas artiklis püütakse lahendada neid tekitavaid probleeme. Viimased hõlmavad pingereguleerimiseseadmete rakendamise teoreetilisi aluseid (koosnevad sisuliselt pingereguleerimiseseadme kompleksse efekti määramise ja selicks vajaliku integraalsete meetodite abil ülekandeahela arvutamise küsimustest) ja mitmeid JKS-ile spetsiifilisi probleeme (peamisi raskusi on tekitanud JKS parameetrite operatiivne valik ja kondensaatorite kaitse liigpingete eest; seni on lahendamata ebanormaalsete nähtuste tekkimise prognoos). Esitatakse konkreetse JKS katseseadme ja võrguga maketi läbiarvutamise tulemusi ning JKS töö hinnang mitmesugustes oludes.

F. NOVOD

VERWENDUNG VON REIHENKONDENSATORENANLAGEN ZUR SPANNUNGSSTÜTZUNG IN MITTELSPANNUNGSNETZEN

Es haben als Spannungsregelungsanlagen in Mittelspannungsnetzen Reihenkondensatoren Verwendung gefunden. Bis zur letzten Zeit stand der größeren Verbreitung dieser im Grunde einfachen und betriebssicheren Anlagen eine Reihe ungelöster Probleme im Wege. Der Aufsatz ist ein Versuch zur Lösung der wichtigsten dieser Probleme. Er bringt theoretische Grundlagen zur Verwendung von Spannungsregelungsanlagen (Bestimmung des komplexen ökonomischen Effektes ihrer Verwendung nebst Berechnung elektrischer Übertragungen durch mathematisch-statistische Methoden) und behandelt die spezifischen Probleme bei ihrem Gebrauch für Reihenkondensatorenanlagen (operative Ermittlung der Grundparameter, Schutz vor Überspannungen, Voraussage unnormaler Erscheinungen). Es werden die Ergebnisse der Berechnung eines Netzmaketts mit einer Versuchskondensatorenanlage geschildert und das Wirken der Kondensatorenanlagen bei Belastungen verschiedenen Typs geschätzt.