

К ВОПРОСУ УСТАНОВКИ ЗАЩИТЫ НА ОТВЕТВЛЕНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЕТЕЙ

Г. Х. ПОБУЛЬ,
кандидат технических наук

С увеличением потребления электроэнергии в сельскохозяйственном производстве повышаются требования к качеству электроснабжения. Так, чем глубже электрификация, тем менее допустимы перебои в подаче электроэнергии. При непродолжительных перерывах в электроснабжении сокращается выход продукции и в некоторых случаях возникает брак. Длительные перерывы вызывают значительные затруднения в производственном процессе.

Эти обстоятельства обуславливают применение ряда технических мероприятий по повышению надежности электроснабжения в сельском хозяйстве.

Основными средствами являются автоматизация электростанций и сетей путем применения соответствующей защиты. Опыт эксплуатации показывает, что при развитии электроснабжения путем присоединения к мощным энергетическим и межрайонным электростанциям значительная часть перерывов в подаче электроэнергии сельским потребителям происходит преимущественно из-за коротких замыканий в высоковольтной распределительной сети, причем самоликвидирующиеся неустойчивые короткие замыкания составляют 60—80% от общего числа коротких замыканий.^[1—3]

Столь высокое число неустойчивых коротких замыканий послужило поводом для внедрения автоматического повторного включения (АПВ) в сельских сетях, способствующего значительному сокращению недоотпуска электроэнергии. При применении АПВ отключение и включение потребителей происходит в течение секунды, так что это не оказывает влияния на работу потребителей.

К защите сельских сетей предъявляются следующие основные требования:

1) защита и АПВ должны обеспечить быстрое восстановление питания электроэнергией потребителей при исчезновении неустойчивого короткого замыкания и отключить как можно меньшее количество потребителей при наличии устойчивого короткого замыкания в сети;

2) отыскание места устойчивого короткого замыкания должно осуществляться просто и с наименьшей затратой времени;

3) защита должна быть дешевой, простой и удобной в эксплуатации, т. е. должна соответствовать основным требованиям, предъявляемым к аппаратуре, применяемой в условиях электрификации сельского хозяйства.

На практике находят применение ряд систем защиты. В вопросе о целесообразности применения их нет полной ясности, о чем свидетельствует ряд опубликованных статей, авторы которых приходят к противоречивым выводам.^[4, 5] Поэтому представляет интерес оценить целесообразность применения различных систем защиты.

Наиболее простой и при этом часто применяемой является система с выключателем в начале питающей линии, причем ответвления от пи-

тающей линии и сама она не имеют другой дополнительной защиты, кроме предохранителей на потребительских трансформаторных подстанциях (ТП) (рис. 1а).

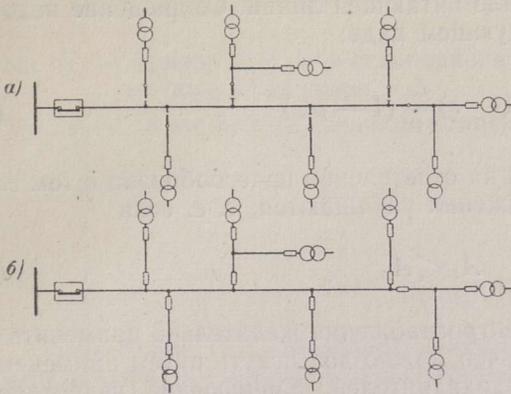


Рис. 1. Системы защиты сельскохозяйственных электрических сетей.

При снабжении такого выключателя устройством АПВ неустойчивые короткие замыкания на питающей линии и ее ответвлениях обычно не приводят к прекращению питания потребителей, но зато устойчивые замыкания в любой части сети вызывают отключение всей питающей линии.

Отыскание места устойчивого короткого замыкания при такой системе защиты представляет значительные затруднения, так как место замыкания определяется поочередным от-

ключением разъединителей, вследствие чего происходит значительный недоотпуск электроэнергии потребителям.

В целях устранения этого недостатка система пополняется дополнительной защитой на ответвлениях (рис. 1б). В этом случае все устойчивые короткие замыкания на ответвлениях приводят к отключению только тех потребителей, которые находятся на поврежденном ответвлении. Отыскание места короткого замыкания при данной схеме защиты значительно легче.

Рассмотрим подробнее те условия, при которых установка предохранителей на ответвлениях увеличивает надежность электроснабжения и, следовательно, целесообразна.* Предположим, что мы имеем ответвление длиной $l_{от}$ и с относительной мощностью

$$p_{от} = \frac{P_{от}}{P} \tag{1}$$

где $P_{от}$ — суммарная мощность ответвления;
 P — суммарная мощность питающей линии, включая также рассматриваемое ответвление.

Установка предохранителей в начале ответвлений сопровождается недоотпуском электроэнергии потребителям ответвления за счет неустойчивых коротких замыканий на ответвлении. Этот недоотпуск можно выразить в следующем виде:

$$A_1 = \kappa l_{от} r \left(\frac{L_{п}}{v} + t' \right) p_{от} \tag{2}$$

где $L_{п}$ — расстояние предохранителей от монтерского пункта, км;
 v — средняя скорость передвижения, зависящая от вида применяемого транспорта, км/час;
 r — относительное число неустойчивых коротких замыканий;
 κ — число отключений питающей линии в год на 1 км сети;
 t' — время, необходимое для замены перегоревшего предохранителя, час.

* G. Põbul, F. Novod, Põllumajanduse elektrifitseerimise areng ja perspektiivid (Рукопись), Институт энергетики АН ЭССР, Таллин, 1956.

При установке предохранителей на ответвлении недоотпуск электроэнергии остальным потребителям питающей линии уменьшается, так как устойчивые короткие замыкания на ответвлении не приводят к отключению выключателя в начале питающей линии. Сокращение недоотпуска можно выразить в следующем виде:

$$A_2 = \kappa l_{от}(1-r) \frac{L_n}{v} (1-p_{от}) \quad (3)$$

Установка предохранителей на ответвлении целесообразна в том случае, если условия электроснабжения улучшаются, т. е. если

$$A_1 < A_2 \quad (4)$$

Для улучшения условий электроснабжения желательно применять на ответвлениях устройства АПВ, что можно достигнуть путем применения многократно действующих предохранителей. Уменьшение недоотпуска электроэнергии за счет применения многократно действующих предохранителей можно учесть коэффициентом $k_B < 1,0$, и в этом случае недоотпуск будет

$$A_1 = k_B \kappa l_{от} r \left(\frac{L_n}{v} + t' \right) p_{от} \quad (5)$$

Численные значения k_B для сетей Эстонской ССР не установлены, в связи с чем приводим для ориентировки некоторые данные, имеющиеся в литературе.^[1, 6, 7]

В случае, когда замена предохранителей производится после отключения потребителей и выключатель в начале линии не имеет ускоренного действия до АПВ, k_B имеет следующие значения:

для предохранителей	однократного действия	$k_B = 1,0$
„	двухкратного	„ $k_B = 0,45$
„	трехкратного	„ $k_B = 0,3$.

В ряде случаев возможно осуществить АПВ на ответвлениях, применяя предохранители однократного действия. Для этого на головном участке линии применяют выключатель с ускоренным действием до АПВ, т. е. выключатель приходит в действие раньше, чем успеет перегореть предохранитель на ответвлении. Если короткое замыкание не ликвидируется, то второй раз выключатель после АПВ обладает выдержкой времени, достаточной для срабатывания предохранителя на ответвлении. Тем самым выключатель обеспечивает отключение и однократное АПВ всей питающей линии. В этом случае коэффициент k_B имеет следующие значения:

для предохранителей	однократного действия	$k_B = 0,23$
„	двухкратного	„ $k_B = 0,13$
„	трехкратного	„ $k_B = 0,08$.

Выражение (4) можно в этом случае записать следующим образом:

$$k_B \kappa l_{от} r \left(\frac{L_n}{v} + t' \right) p_{от} < \kappa l_{от}(1-r) \frac{L_n}{v} (1-p_{от}) \quad (6)$$

Если обозначить

$$\xi = k_B \left(1 + \frac{v}{L_n} t' \right) = \frac{k_B t_1}{t_2} \quad (7)$$

где t_1 — полное время восстановления питания при неустойчивом коротком замыкании,

t_2 — то же при устойчивом коротком замыкании,

то

$$\xi r p_{от} < (1 - r)(1 - p_{от}) \quad (8)$$

и

$$p_{от} < \frac{1 - r}{1 + r(\xi - 1)} \quad (9)$$

Выражение (9) определяет максимальную относительную мощность ответвления. Упомянутая зависимость представлена на рис. 2 семейством кривых $\xi = const$.

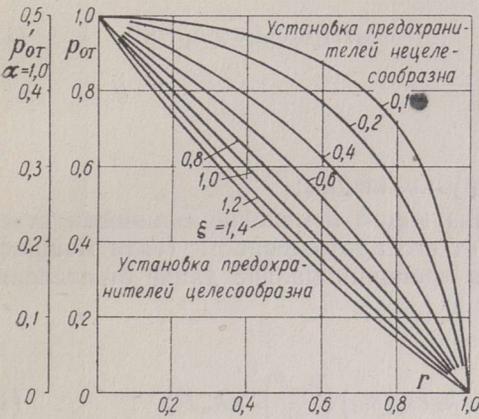


Рис. 2. Предельная и оптимальная мощность ответвления в зависимости от относительного числа неустойчивых коротких замыканий и коэффициента ξ .

Используя выражение (7), можно определить коэффициент ξ и найти из семейства кривых рис. 1 кривую, соответствующую найденному значению ξ . В этом случае найденная кривая разграничивает плоскость диаграммы на две части. Если точка, определяемая $p_{от}$ и r , лежит выше определенной кривой $\xi = const$, то установка предохранителей на данном ответвлении нецелесообразна. Если она лежит ниже этой кривой, то установка предохранителей целесообразна, так как она приводит к уменьшению суммарного недоотпуска электроэнергии.

Помимо того, необходимо, чтобы получаемое снижение недоотпуска электроэнергии окупило стоимость защитных устройств.

Это условие будет выполнено, если длина ответвления превышает величину.

$$l_{от} \geq \frac{K_n \frac{p}{100}}{[(1 - r)t_2(1 - p_{от}) - k_B r t_1 p_{от}] \cdot k_M P \beta''} \quad (10)$$

где K_n — стоимость защитного устройства, руб.;

p — величина ежегодных отчислений на амортизацию и окупаемость, %;

$k_M P$ — среднегодовая нагрузка, выраженная через коэффициент среднегодовой нагрузки и максимальную мощность питающей линии, квт;

β'' — величина убытков недоотпуска, руб./квт-ч.

При установке защитных устройств желательно получить наибольшее сокращение недоотпуска электроэнергии потребителям. Для этого

необходимо соответствующим образом подобрать мощность ответвления и его протяженность.

Из выражения (6) можно получить величину, пропорциональную сокращению недоотпуска электроэнергии,

$$A' = \{(1-r)t_2 - [(1-r)t_2 + k_B r t_1] p_{от}\} l_{от} \quad (11)$$

максимального значения которой необходимо добиться путем соответствующего выбора места установки защиты. Для облегчения выбора мощности ответвления и его протяженности построена номограмма, позволяющая быстро определить величину A' , характеризующую сокращение недоотпуска электроэнергии (рис. 3).

В ряде случаев целесообразно установить относительную мощность ответвления за защитным устройством для средних условий сети. Это бывает важно, например, при решении вопросов выбора конфигурации сети в начальной стадии проектирования, а также при оценке эффективности различных защитных устройств.

Величину сокращения недоотпуска электроэнергии можно выразить формулой

$$A = \{(1-r)t_2 - [(1-r)t_2 + k_B r t_1] p_{от}\} l_{от} \times k_M P \beta'' \quad (12)$$

Если принять, что $l_{от} = \left(\frac{p_{от} P}{D}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$,

где D — погонная плотность нагрузки, квт/км;

α — коэффициент, характеризующий изменение мощности ответвления в зависимости от его протяженности (если мощность ответвления изменяется пропорционально длине ответвления, то $\alpha = 1$),

то после замещения получим

$$A = \{(1-r)t_2 - [(1-r)t_2 + k_B r t_1] p_{от}\} \left(\frac{p_{от} P}{D}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \times k_M P \beta'' \quad (13)$$

Из уравнения (13) путем дифференцирования и приравнивания производной к нулю можно легко определить оптимальную относительную мощность ответвления

$$p'_{от} = \frac{1-r}{(\alpha+1)[1+r(\xi-1)]} \quad (14)$$

Если принять $\alpha = 1$, что соответствует случаю с равномерно распределенной нагрузкой, то относительная мощность ответвления будет вдвое меньше предельной мощности ответвления, определенной по формуле (8) (см. также рис. 2).

Если учесть выражение (14), то формулу (13) можно переписать в следующем виде:

$$A_{опт} = \left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right) (1-r) t_2 \left[\frac{(1-r)L}{(1+\alpha)[1+r(\xi-1)]}\right]^{\frac{1}{\alpha}} \times k_M P \beta'' \quad (15)$$

где L — длина питающей линии.

Установка защитных устройств на ответвлении целесообразна, если

$$A_{опт} \geq K_{п} \frac{P}{100} \quad (16)$$

$$A' = \left\{ (1-r)t_2 - \left[(1-r)t_2 + k_B r t_1 \right] / p_{OT} \right\} l_{OT} \quad a = (1-r)t_2 \quad b = a + k_B r t_1$$

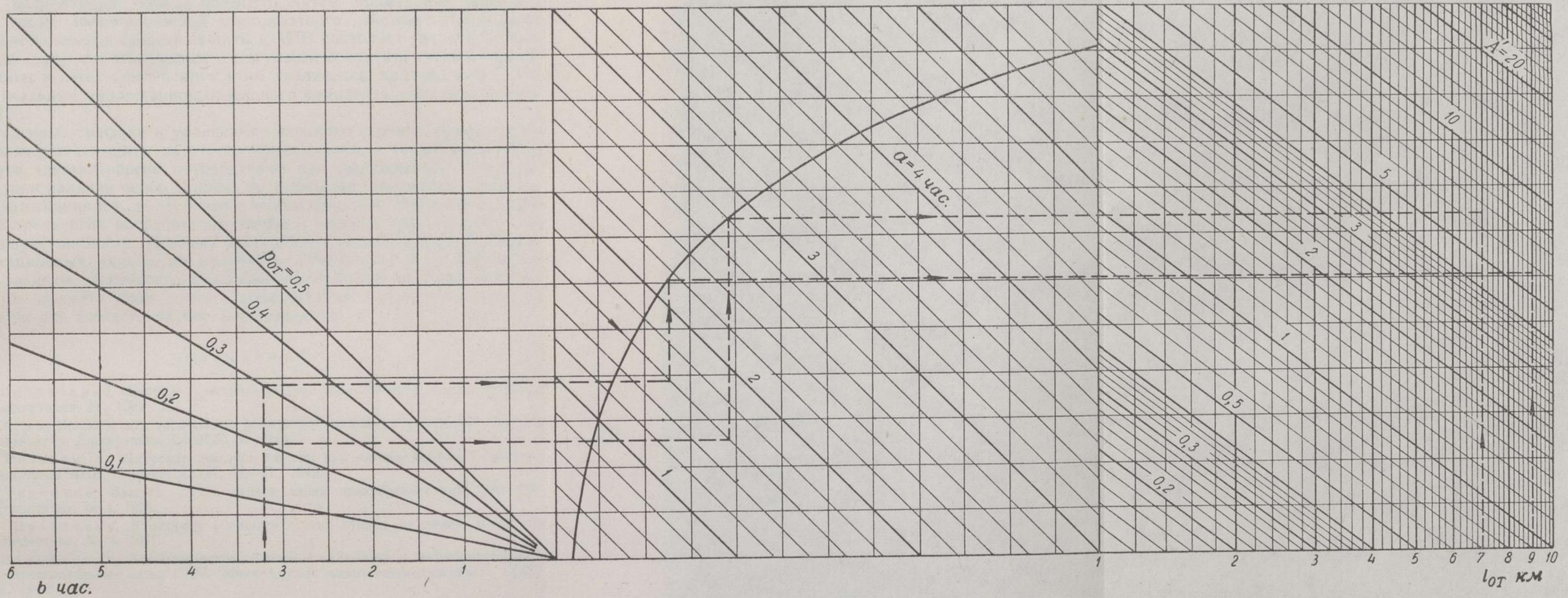


Рис. 3. Номограмма для подбора оптимальной протяженности и мощности ответвления, исходя из величины сокращения недоотпуска электроэнергии потребителям.

В качестве примера пользования номограммой на ней определена величина A' для двух случаев: $p_{OT}=0,3$, $l_{OT}=9$ км и $p_{OT}=0,2$, $l_{OT}=7$ км, при $r=0,8$, $t_2=8$ час., $k_B=0,24$ и $t'=0,34$ час. В первом случае сокращение недоотпуска меньше, чем во втором, приблизительно на 17%, т. е. в данном случае выгоднее сократить длину ответвления и тем самым и мощность потребителей за защитным устройством.

Из приведенных формул видно, что оптимальная мощность ответвления изменяется пропорционально сокращению недоотпуска электроэнергии потребителям. Увеличение числа неустойчивых коротких замыканий приводит к уменьшению относительной мощности ответвления, а также к увеличению недоотпуска электроэнергии, не способствуя тем самым применению защиты на ответвлениях. В этом случае надежность питания потребителей можно повысить путем применения защиты с АПВ, а также предохранителей многократного действия. Применение усовершенствованных средств защиты с АПВ позволяет увеличить относительную мощность ответвления и тем самым сократить число комплектов защиты в сети, компенсируя этим увеличение капиталовложений, которое связано с удорожанием отдельного комплекта защиты с устройством АПВ.

Приведенные графики и уравнения позволяют оценить целесообразность применения защиты на ответвлениях в сети, а также определить недоотпуск электроэнергии потребителям при вынужденной установке защиты (при наличии особо важных потребителей, при малых токах короткого замыкания и т. д.). В связи с необходимостью бесперебойной подачи электроэнергии потребителям вопросы эксплуатации приобретают все большую важность. Поэтому необходимо наладить учет и анализ эксплуатационных данных по количеству отключений и их характеру по всем звеньям электропередачи сельскохозяйственных сетей. Это позволило бы выявить узкие места в эксплуатации и наметить пути к их устранению для каждого района в отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Солдаткина, Система электроснабжения сельскохозяйственных районов, Диссертация, М., 1947.
2. Н. М. Зуль, Вопросы автоматического повторного включения в сельских электроустановках, Диссертация, ВИЭСХ, М., 1952.
3. М. П. Розенкоп, Ускорение действия защиты при автоматическом повторном включении АПВ, Госэнергоиздат, М.—Л., 1949.
4. П. В. Терников, Защита глухих отпаек линий предохранителями типа ПК, «Энергетик», № 4, 1956.
5. М. Ю. Шухатович, К вопросу о защите глухих отпаек от линий 6—10 кв, «Энергетик», № 6, 1957.
6. Я. Е. Вольфкович, Автоматическое повторное включение и секционирование в распределительных сетях США, Министерство электропромышленности СССР, М., 1946.
7. R. F. Quinn, An ABC Formula Guides Fuse Coordination, «Electrical World», V. 119, No. 26, 1943.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
2 II 1959

KAITSE ÜLESSEADMISEST PÖLLUMAJANDUSLIKE ELEKTRIVÕRKUDE HARULIINIDEL

G. Pobul,

tehniliste teaduste kandidaat

Resümees

Elektrienergia laialdane kasutamine põllumajanduses asetab suuri nõudeid tema kvaliteedile. Mida enam tungib elektrienergia kolhoosikülla, seda lubamatumaks muutuvad iga-sugused häired temaga varustamisel.

See asjaolu teebki vajalikuks rea tehniliste abinõude tarvituselevõtmise põllumajandusliku elektrienergia kvaliteedi parandamiseks. Üheks efektiivseks abinõuks on elektri-jaamade ja -võrkude automatiseerimine ja vastava kaitseüsteemi rakendamine. Eksploa- teerimise kogemused näitavad, et tsentraliseeritud elektrienergiaga varustamise süsteemis tekib enamik voolu katkestusi kõrgepingevõrkudes esinevate avariide tõttu, kusjuures 60—80% lühiste arvust on mööduva iseloomuga. See asjaolu võimaldab kasutada edukalt automaatset korduvlülitust (AKL) koos vastavate kaitsekeemidega. Käesolevas töös on vaatluse alla võetud rida põllumajanduslike elektrivõrkude kaitseüsteeme ja selgitatud sulavkaitsmete ülesseadmise otstarbekust haruliinidel.

Lähtudes tarbijate elektrienergiaga varustamise parandamise tingimusest toiteliinil, on sulavkaitsmete ülesseadmine haruliinil otstarbekas siis, kui haruliini suhteline võimsus on väiksem järgmisest avaldusest saadavast väärtusest

$$p_{or} \leq \frac{1-r}{1+r(\xi-1)}$$

$$\text{kus } \xi = k_b \left(1 + \frac{v}{L_n} t'\right) \quad \text{ja} \quad p_{or} = \frac{P_{or}}{P}$$

P_{or} — haruliini tarbijate summaarne võimsus, kW;

P — terve toiteliini tarbijate summaarne võimsus, kW;

r — mööduvate lühiste suhteline arv;

k_b — tegur, mis võtab arvesse kaitse tüübi;

v — kasutatava transpordi keskmine kiirus, km/h;

L_n — kaitsmete kaugus montööripunktist, km;

t' — aeg, mis kulub läbipõlenud kaitsmete asendamiseks uutega, h.

Joonisel 2 on näha haruliini suhteline võimsus sõltuvalt mööduvate lühiste arvust ja tegurist ξ .

Artiklis on esitatud valem (10) haruliini pikkuse määramiseks, mille puhul tarbijate elektrienergiaga varustamise parandamine teeb tasa kaitseeadmete hinna. Valemi (11) ja joonisel 3 toodud nomogrammi põhjal on võimalik määrata haruliini optimaalset pikkust ja võimsust nii, et see tagaks suurima kindluse tarbijate elektrienergiaga varustamisel. Jaotatud koormuse juhul on haruliini optimaalne võimsus avaldatav järgmisel kujul:

$$p'_{or} = \frac{1-r}{(\alpha+1)[1+r(\xi-1)]}$$

kus tegur α võtab arvesse koormuse jaotumist piki liini.

On näidatud, et AKL-ga varustatud kaitseeadmete kasutamisel haruliinide optimaalne võimsus suureneb ning seadmete arv väheneb, tasakaalustades seadmete soetamisega seoses olevad kulud. Esitatud valemid võimaldavad hõlpsalt hinnata kaitseeadmete efektiivsust ja määrata nende ülesseadmise kohta kõrgepingevõrgus.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
2. II 1959

VON DER ANWENDUNG VON SICHERUNGEN IN LANDWIRTSCHAFTLICHEN HOCHSPANNUNGSNETZEN

G. Pobul

Zusammenfassung

Die weitläufige Anwendung der elektrischen Energie in der Landwirtschaft stellt hohe Anforderungen hinsichtlich der Qualität der Energieversorgung. Je tiefer die Elektrizität in die landwirtschaftlichen Betriebe eindringt, desto weniger sind Störungen in der Stromversorgung erlaubt. Ein effektives Mittel zur Verbesserung der Sicherheit der Stromversorgung ist die Automatisierung des Stromnetzes. An Hand der Betriebserfahrungen ist festgestellt worden, dass meiste Unterbrechungen der Stromversorgung von Störungen im Hochspannungsnetz bedingt sind, wobei 60—80% der Kurzschlüsse mit Kurzschlussfortschaltung zu beseitigen sind. Dieser Umstand erlaubt es, Kurzschlussfortschaltung nebst entsprechenden Sicherungsschemen erfolgreich anzuwenden.

In gegenwärtiger Abhandlung wird eine Übersicht verschiedener Sicherungssysteme des landwirtschaftlichen Hochspannungsnetzes gegeben, ebenso wird die Zweckmässigkeit von Hochspannungssicherungen in Hochspannungsabzweigen erörtert.

Der Verfasser schlägt eine Formel (9) vor, mit deren Hilfe die relative Leistung des Hochspannungsabzweigs bestimmt wird, um die Versorgungssicherheit zu verbessern.

Ferner wird die Formel (10) zur Bestimmung der Länge des Hochspannungsabzweigs angegeben, bei Anwendung welcher die Stromversorgungssicherheit die Kosten berechtigt, die mit der Anwendung von Hochspannungssicherungen verbunden sind. Die Formel (11) und das Nomogramm (Abb. 3) ermöglichen es, die optimale Länge und Leistung des Abzweigs so zu gestalten, dass eine möglichst störungsfreie Energieversorgung gewährleistet wird.

Auf Grund der Formel (14) berechnet man die optimale relative Leistung des Abzweigs im Falle gleichmässig verteilter Belastung. Die vorgeschlagene Methodik und die Formeln ermöglichen es, die Zweckmässigkeit der Verwendung von Hochspannungssicherungen zu bestimmen, ebensowie zu ermitteln, an welchen Stellen die Sicherungen am besten anzubringen sind.

*Institut für Energetik
der Akademie der Wissenschaften
der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 2. Febr. 1959